

ВЕСТНИК



Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 2 (35)

Красноярск 2011

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 2 (35)

Главный редактор

доктор технических наук
Ковалев И. В.

Заместители главного редактора:

доктор физико-математических наук
Логинов Ю. Ю.

доктор физико-математических наук
Сенашов С. И.

доктор технических наук
Михеев А. Е.

кандидат технических наук
Зеленков П. В. (отв. секретарь)

Редакционная коллегия:

Аплеснин С. С.
Головенкин Е. Н.
Ерыгин Ю. В.
Краев М. В.
Лаптенко В. Д.
Ловчиков А. Н.
Медведев А. В.
Москвичев В. В.
Сафонов К. В.
Смирнов Н. А.
Сомов В. Г.

Учредитель

Сибирский
государственный
аэрокосмический
университет
имени академика
М. Ф. Решетнева

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

«Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева» (Вестник СибГАУ) – межрегиональный научный журнал, содержащий результаты научных 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:
русской 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

Редакторы Т. Е. Ильющенко,
К. С. Мирошникова, Е. Г. Некрасова, О. А. Плехова
Редактор английского текста Е. А. Гончаров
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 21.06.2011. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 28,2.
Уч.-изд. л. 35,0. Тираж 1000 экз. С 75/11. Заказ 87/93.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2.



РАЗДЕЛ
1



МАТЕМАТИКА,
МЕХАНИКА,
ИНФОРМАТИКА



**КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЦЕЛЕНТЕРАЗИНА
С УЧЕТОМ ОКРУЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОННЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ***

Электронная структура и полная энергия различных изомерных форм целентеразина рассчитаны методами квантовой химии, как в одноэлектронном приближении, так и с учетом корреляционных эффектов. Показано, что учет электронных корреляций позволяет выбрать структуру целентеразина CLZ(1H) как наиболее вероятную из возможных изомерных форм.

Ключевые слова: обелин, квантово-химические расчеты, целентеразин, биолюминесценция, электронная корреляция.

Явление биолюминесценции широко распространено в природе и лежит в основе целого ряда перспективных методов изучения биологических процессов. Са²⁺-регулируемые фотопротеины являются одними из наиболее изученных представителей биолюминесцентных систем. Исследуются как сами белки, так и катализируемые ими реакции. Для многих белков идентифицированы субстраты реакций, определены их структуры и предложен механизм их окисления, приводящий к образованию электронно-возбужденных состояний [1–3]. Тем не менее до сих пор еще не решен один из основных фундаментальных вопросов в области биолюминесценции: каким образом белковая молекула препятствует диссипации возбужденных состояний в тепло, обеспечивая тем самым высокий квантовый выход хемилюминесцентной реакции. Восполнить этот пробел могут современные методы квантовой химии.

Для понимания физических процессов, происходящих в активном центре фотопротеина, в первую очередь необходимо определить реальную атомную структуру центральной молекулы целентеразина (CLZ) среди нескольких возможных изомерных форм. В данной работе эта задача решается с помощью микроскопических квантово-химических расчетов молекулы CLZ.

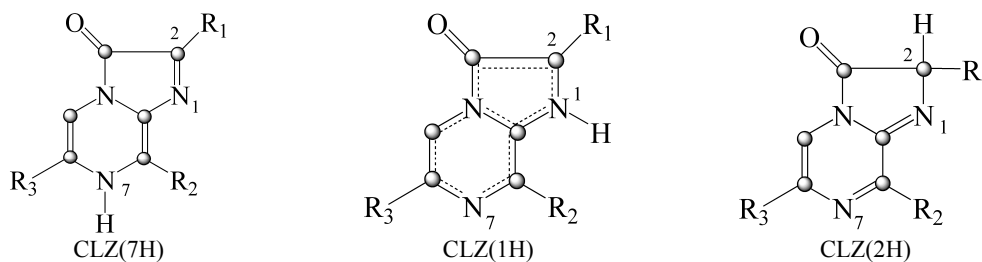
Методы квантовой химии, основанные на методе Хартри–Фока в качестве отправной точки и использующие представление о волновой функции как характеристике состояния квантовой системы, в принципе дают достаточно точный ответ о строении, энергии и химических свойствах исследуемого соединения. Для этого необходим полный учет энергии коррелированного движения электронов. В настоящий момент такие расчеты в *ab initio* представлении возможны для простых молекул, содержащих порядка 10...30 тяжелых атомов [4]. В связи с большим количеством атомов в системе применение первопринципных методов *ab initio* видится затруднительным, так как занимает большое количество времени и компьютерных ресурсов. В данной работе использовались полуэмпирические методы PM3 и PM6 [5–8]. Большинство полуэмпирических методов параметризова-

лось для органических молекул и биологических систем. На выбор метода в большей степени повлияло то, что полуэмпирические методы Хартри–Фока PM3 и PM6 учитывают электростатическое взаимодействие, что очень важно в случае биологических систем. В данных методах все параметры, аппроксимирующие интегралы взаимодействия, подбираются наилучшим образом (оптимизируются с помощью набора соединений с надежно измеренными экспериментальными свойствами). Методы PM3 и PM6 обеспечивают достаточную точность для воспроизведения многих физико-химических свойств молекул. Улучшение расчетов также достигалось путем применения метода CI (конфигурационное взаимодействие) для расчета основного и возбужденного состояния, что позволило учесть электронную корреляцию. Расчет проводился с использованием программы MOPAC2007.

Изомерные формы целентеразина. Целентеразин был выделен впервые в начале 1960-х гг. Структура была идентифицирована только в 1977 г. [9]. Немодифицированная форма CLZ отвечает формуле C₂₆H₂₁O₃N₃. Целентеразин может быть выкристаллизован из метанола как желто-оранжевые кристаллы. В метаноле CLZ флуоресцирует в желтой области и его ультрафиолетовый спектр поглощения имеет максимум на 435 нм [9, с. 470; 10]. В работе [11] проведено исследование немодифицированного CLZ и его аналогов в различных растворителях. На основании результатов этой работы было сделано предположение, что CLZ может существовать в нескольких изомерных формах: CLZ(2H), CLZ(7H) и CLZ(1H), протонированных соответственно в различных положениях (см. рисунок).

Форма CLZ(2H), протонированная в положение атома углерода C(2), имеет угол между остатком R₁ и плоскостью имидазопиразиновых колец около 120°, в то время как у CLZ(1H) и CLZ(7H) угол составляет 180°, т. е. связь лежит в той же плоскости, что имидазопиразиновые кольца. Таким образом, появление водорода при C(2) атоме приводит к изменению его конфигурации с sp² на sp³, с последующим изменением длин связи и углов. При этом меняется и геометрия структуры, и заряды на атомах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (07-04-00930-а), программы Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология» и программы Сибирского отделения РАН (проект № 2), в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2010 г. (П333 и П213).



Таутомерные формы целентеразина

Сравнение структур, рассчитанных в приближении Хартри–Фока и с учетом электронных корреляций. В связи с тем что формы CLZ(1H) и CLZ(7H) геометрически очень похожи, а рентгеноструктурный анализ не показывает положения атомов водорода в молекуле, определить, какая именно форма существует в белке или растворителях, экспериментально сложно. С другой стороны, для правильного определения спектральных характеристик необходимо знание точной атомной структуры молекулы. Даже небольшие изменения в атомной структуре приводят к заметным сдвигам в спектрах поглощения. В структуре целентеразина присутствуют атомы азота и кислорода с неподеленными электронными парами. Наличие данных атомов приводит к корреляционным эффектам, поэтому было решено проверить атомную структуру целентеразина с помощью одноэлектронных приближений и с учетом корреляционных поправок.

Энергии трех изомерных структур целентеразина, полученные различными методами, представлены в табл. 1. Энергия структуры CLZ(7H) принята за ноль, и остальные структуры сравнивались относительно нее.

При учете корреляции методом PM6 уменьшается энергетическая разница между структурами CLZ(1H) и CLZ(7H). В случае PM3 разница между этими структурами остается практически одинаковой.

Таблица 1

Энергия целентеразина, полученная различными методами, кДж/моль

Метод расчета	Форма целентеразина		
	CLZ(1H)	CLZ(7H)	CLZ(2H)
PM3	-4,70	0,00	-14,50
PM3 CI	-5,10	0,00	-14,91
PM6	-17,58	0,00	-2,35
PM6 CI	-6,23	0	8,39

При этом следует отметить, что в любом случае структура CLZ(1H) получается более устойчивой. Но так как при учете электронной корреляции разница между двумя структурами небольшая, то логично предположить, что они могут переходить друг в друга в растворителях достаточно легко.

Также был проведен расчет данных структур в растворителях диметилсульфоксиде (DMSO) и метаноле (CH₃OH). Энергетические характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2

Энергия образования комплекса и расстояние до молекулы растворителя

Форма целентеразина	PM6	PM3
	dE, кДж/моль (расстояние до растворителя, Å)	dE, кДж/моль (расстояние до растворителя, Å)
DMSO		
CLZ(1H)	-126,98 (1,71)	-90,89 (1,78)
CLZ(7H)	-10,92 (5,74)	-20,84 (1,79)
CLZ(2H)	-45,71 (7,04)	67,05 (2,48)
CH ₃ OH		
CLZ(1H)	-39,88 (1,75)	-54,67 (2,45)
CLZ(7H)	-22,09 (1,86)	-5,95 (2,74)
CLZ(2H)	-3,90 (2,11)	-8,39 (2,77)

Для учета влияния растворителя молекула целентеразина была помещена в окружение из 10 молекул растворителя. Расчет проводился полуэмпирическими методами PM3 и PM6, чтобы учесть электростатическое взаимодействие. Было проведено сравнение устойчивости образующихся комплексов центральной молекулы с окружением растворителя. Расчет проводился следующим образом:

$$\Delta E = E_{\text{all}} - \sum E_i, \quad (1)$$

где ΔE – энергетический выигрыш при образовании комплекса, кДж/моль; E_{all} – общая энергия, полученная из расчетов системы в целом, кДж/моль; E_i – энергия каждого компонента системы, рассчитанная отдельно в вакууме, кДж/моль.

Также для оценки образования комплекса определялось расстояние между молекулой растворителя и водородом в положении N(1), N(7) и C(2) соответственно для каждого изомера в зависимости от структуры. Прямые методы показывают структуру CLZ(1H) устойчивей вне зависимости от растворителя.

В связи с тем что энергетически структуры отличаются не сильно, оценить, какая же именно структура реализуется в тех или иных условиях исходя только из энергетического фактора, нельзя. Поэтому было проведено сравнение длин связей для данных структур (табл. 3). Среднеквадратическое отклонение длин связей, полученных в результате оптимизации геометрии относительно эксперимента в вакууме и растворителях, определялось по формуле

$$\sigma = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}. \quad (2)$$

Среднеквадратическое отклонение σ длин связи для каждой структуры относительно эксперимента при расчете геометрии в растворителях, Å

Метод расчета	Растворитель	Форма целентеразина		
		CLZ(1H)	CLZ(7H)	CLZ(2H)
PM3	Вакуум	0,063	0,080	0,070
	Вакуум с учетом корреляций методом CI	0,059	0,081	0,070
	DMSO	0,059	0,070	0,074
	CH ₃ OH	0,058	0,073	0,074
PM6	Вакуум	0,062	0,071	0,072
	Вакуум с учетом корреляций методом CI	0,058	0,070	0,070
	DMSO	0,061	0,066	0,076
	CH ₃ OH	0,058	0,064	0,074

Из представленных данных видно, что учет электронных корреляций приводит к заметному улучшению геометрии. Из сравнения геометрий видно, что наиболее близкая к экспериментальным данным структура – CLZ(1H). Все методы расчета показали отклонение для данной структуры меньше, чем для структуры CLZ(7H) или CLZ(2H).

Исходя из всех факторов (геометрии, энергии, образования комплекса с растворителем), можно сделать вывод, что начальной структурой процесса активации молекулой кислорода будет являться структура CLZ(1H), а не CLZ(7H), как считалось ранее.

Спектральные характеристики изомерных форм целентеразина. В работе [11] было сделано предположение, что в различных растворителях целентеразин находится в различных изомерных формах. Апротонные растворители (DMSO и пр.) сдвигают спектр абсорбции в красную область (454 нм) в отличие от протонных растворителей (метанола) – 435 нм. Различные абсорбционные максимумы были приписаны различным таутомерным формам целентеразина – протонированного в положении C(2) и N(7) соответственно.

Для проверки предположения Кормиера был выполнен расчет абсорбционных максимумов изомерных форм целентеразина в вакууме, метаноле и DMSO, используя процедуру CI на основе геометрий, полученных полуэмпирическим методом PM3 CI с 10 занятыми и 6 свободными орбиталями.

Предварительно для оценки были проведены расчеты данных структур в вакууме (табл. 4). Полученные данные должны показать спектр абсорбции структур без влияния на них растворителей. Из данных, представленных в табл. 4, видно, что абсорбционный максимум структуры CLZ(2H), рассчитанный полуэмпирическим методом PM3, показывает значение ~360 нм. Это означает, что мы можем исключить структуру CLZ(2H) из нашего рассмотрения при расчете полуэмпирическими методами, так как рассчитанный абсорбционный максимум очень сильно отличается от экспериментального.

При использовании процедуры CI в рамках метода PM3 расчет показал сильный красный сдвиг для структуры CLZ(7H) при любых условиях. Таким образом, на основании полуэмпирических расчетов можно сделать следующее заключение: в апротонном растворителе CLZ существует в форме CLZ(7H), а в

протонном – CLZ(1H), в отличие от того, что считалось ранее [11].

Таблица 4

Максимумы поглощения структур целентеразина в вакууме, нм

Форма целентеразина	Вакуум	DMSO	CH ₃ OH
CLZ(1H)	440	430	433
CLZ(7H)	475	540	499
CLZ(2H)	363	369	362

Итак, проведены расчеты различных изомерных форм целентеразина методами одноэлектронного приближения и с учетом электронных корреляций. Показано, что учет электронных корреляций дает структуру, более близкую к экспериментальной, и позволяет выбрать форму целентеразина CLZ(1H) как наиболее вероятную из возможных изомерных форм. Целентеразин в протонных растворителях находится в изомерной форме CLZ(1H), в апротонных – в форме CLZ(7H). Образование формы CLZ(2H) в растворителях не происходит. Изомерная форма CLZ(2H) может образовываться только при захвате целентеразина белковым окружением.

Библиографические ссылки

1. Crystal structure of coelenterazine-binding protein from Renilla Muellieri at 1.7 Å: Why it is not a calcium-regulated photoprotein / G. A. Stepanyuk, Z.-J. Liu, S. S. Markova et al. // Photochem. Photobiol. Sci. 2008. Vol. 7. P. 442–447.
2. Structure of the Ca²⁺-regulated photoprotein obelin at 1.7 Å resolution determined directly from its sulfur substructure / Z.-J. Liu, E. S. Vysotski, C.-J. Chen et al. // Protein Sci. 2000. Vol. 9. P. 2085–2093.
3. The crystal structure of the photoprotein aequorin at 2.3 Å resolution / J. F. Head, S. Inouye, K. Teranishi, O. Shimomura // Nature. 2000. Vol. 405. P. 372–376.
4. Аврамов П. В., Овчинников С. Г. Квантово-химическое и молекулярно-динамическое моделирование структуры и свойств углеродных наноструктур: мультимедийное изд. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
5. Stewart J. J. P. Optimization of parameters for semiempirical methods I // J. Comp. Chem. 1991. Vol. 10. № 2. P. 209–220.

6. Stewart J. J. P. Optimization of parameters for semiempirical methods II // J. Comp. Chem. 1991. Vol. 10. № 2. P. 221–264.

7. Stewart J. J. P. Comparison of the accuracy of semiempirical and some DFT methods for predicting heats of formation // J. Comp. Chem. 2004. Vol. 10. P. 6–12.

8. Stuart J. J. P. Optimization of parameters for semiempirical methods V: Modification of NDDO approximations and application to 70 elements // J. Mol. Model. 2007. Vol. 13. P. 1172–1213.

9. Shimomura O. Bioluminescence. Chemical Principles and Methods. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2006.

10. Shimomura O. The discovery of aequorin and green fluorescent protein // J. of Microscopy. 2005. Vol. 217. P. 3–15.

11. Renilla luciferin as the substrate for calcium induced photoprotein bioluminescence. Assignment of luciferin tautomers in aequorin and mnemiopsin / K. Hori, J. M. Anderson, W. W. Ward, M. J. Cormier // Biochemistry. 1975. Vol. 14. № 11. P. 2371–2376.

L. Yu. Antipina, S. G. Ovchinnikov

QUANTUM-CHEMICAL STUDY OF COELENTERAZINE WITH THE ACCOUNT OF ENVIRONMENT AND ELECTRONIC CORRELATIONS

Electronic structure and total energy of various isomeric forms of coelenterazine has been calculated by methods of quantum chemistry both in one-electronic approach, and with correlation effects. It is shown that the account of electronic correlations allows choosing structure of coelenterazine CLZ (1H) as most probable of possible isomeric forms.

Keywords: obelin, quantum-chemical calculations, coelenterazine, bioluminescence, electronic correlation.

© Антипина Л. Ю., Овчинников С. Г., 2011

УДК 539.21:537.86

S. S. Aplesnin, O. B. Romanova, A. S. Krylov, Hsiang-Lin Liu, I. V. Aldashev

RESEARCH OF RAMAN SPECTRA IN $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ SOLID SOLUTIONS*

Temperature dependence of Raman spectra in the frequency interval 100...1 200 cm^{-1} in the 100...300 K range temperature has been investigated in the substance of $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions. A Raman spectra study has uncovered evidence of strong orbital fluctuations that manifest itself in kind of composite line shape at $\omega_2 = 273...298 \text{ cm}^{-1}$, arisen from splitting of phonon modes with different temperature dependences of the intensity below the orbital ordering transition.

Keywords: magnetically ordered materials, Raman spectra, spin-orbit effects, orbital fluctuations, sulfides.

An active role of orbital degree of freedom in the lattice [1] and the electronic response can be most typically seen in manganese oxide compounds with perovskite structure [2–4]. A more transparent example is the case of RTiO_3 [5] and RVO_3 [6; 7] with $3d_1$ and $3d_2$ electron configuration, respectively, both retaining the orbital degree of freedom in the t_{2g} state. The actual orbital order pattern in these t_{2g} electron systems is not straightforwardly visible from the crystal structure alone because of the relatively weak Jahn–Teller (JT) distortion of the t_{2g} electron. An example of dynamical orbital correlation is seen in the spin-state transition in LaCoO_3 with $3d_6$ configuration of Co [8]. In fact, the correlated local lattice distortion clearly shows up in the infrared phonon spectra in accord with the spin-state cross-over [9], although the average lattice structure appears to be undistorted from that of the ground state. However,

LaCoO_3 undergoes the insulator-to-metal transition by warming above 500 K. As predicted by the LDA calculation [8], this phenomenon may be interpreted as the loss of the orbital (short-range) order.

Charge-orbital order can arise from to redistribution of electron density between orbitales and as a results of electron-lattice interaction induces an anomalous change in the phonons frequency and the linewidth. The Raman background can give information of the electronic excitations. The change of the diffusive Raman scattering in the paramagnetic phase has been attributed to the change of the lattice vibrations and their correlation to the electron structure. A detailed investigation of the electronic and lattice excitations is therefore crucial for the understanding of origin of strong coupling between charge, lattice and spin degrees of freedom of the $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions.

*This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research project № 09-02-00554_a; № 09-02-92001-NNS_a; ADTP “Development of scientific potential of the higher school” № 2.1.1/401.

The occupancy of the orbitals and the orbital order can cause to change in the static and dynamic properties of structure. Raman spectroscopy proved to be a useful tool for the study of structural phase transitions. Materials presenting perovskite crystal structure, with a large number of structural changes, have been extensively studied by this technique [10]. A broadening of the phonon peaks, associated to the lattice disorder and the presence of a central mode near and above the transition temperature is observed at the order-disorder transitions. Raman-scattering studies are used for study of the JT transition in LaMnO_3 [11] and for polycrystalline $\alpha\text{-MnSe}$ samples [12]. $\alpha\text{-MnSe}$ has a NaCl-type structure with O_h symmetry and only one infrared (IR) active mode of F_{1u} symmetry. The rock salt structure has no Raman active modes, but there are three irreducible components A_{1g} , T_{2g} and E_g of a second-rank tensor. All combinations of modes can be observed in unpolarized measurements on the polycrystalline samples, i. e., summation bands, difference bands (at low temperatures) and overtones [13]. Transition energy ${}^6A_1\text{-}^4T_2$ depends on spin and orbital ordering and on spin and phonon dynamics. The measurements were made with a Horiba Jobin Yvon T64000 Raman spectrometer. The Raman spectra taken in the temperature range 140...300 K at the frequencies 100...750 cm^{-1} are given in fig. 1. At room temperature, the spectra are obtained in the wider frequency band 100...1200 cm^{-1} . At the frequencies $\omega_1 = 115 \text{ cm}^{-1}$, $\omega_2 = 273\text{...}298 \text{ cm}^{-1}$, and $\omega_3 = 840 \text{ cm}^{-1}$ the active Raman modes are observed. According to the literature data [12], positioning two peaks at the frequencies $\omega_1 = 115 \text{ cm}^{-1}$ and $\omega_2 = 260 \text{ cm}^{-1}$ for MnS is related to transverse optical mode TO(X) and the combination of optical and acoustic phonon modes TO + LA(X). The Debye temperature for MnS is $T_D = 230 \text{ K}$ and the corresponding frequency is $\omega_D = 165 \text{ cm}^{-1}$. In the MnS the third peak at the frequency $\omega_3 = 840 \text{ cm}^{-1}$ is absent and this hump may be attributed to polaron, a collision-dominated response, or a plasmalike excitation. A similar broad peak around 1200 cm^{-1} is observed in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ and was explained by a polaron excitation [14].

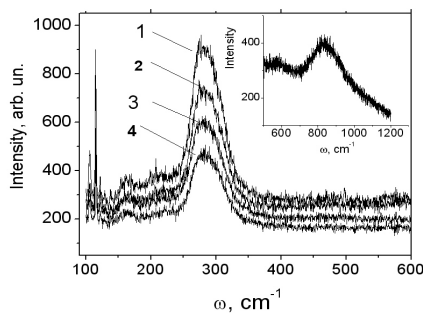


Fig. 1. Raman spectra versus frequency at temperatures of 160 K (1), 210 K (2), 230 K (3), and 250 K (4) for the $\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.95}\text{S}$ sample. The inset presents the Raman spectra taken at $T = 300 \text{ K}$ for the same sample

The weak feature in $I(\omega)$ is observed at frequency 163 cm^{-1} to be temperature dependent, but the quality of spectra did not allow a quantitative analysis. Because

isomorphic crystals MnS have the values of exchange energies, dipolar anisotropy and acoustic magnon [15] in the same range as $\alpha\text{-MnSe}$, the mode frequency 163 cm^{-1} could be a combination of TO mode and acoustic one-magnon as $\alpha\text{-MnSe}$: $\omega_{\text{LTO}}(\Gamma) + \omega_{\text{1Mac}} = 138 \text{ cm}^{-1} + 18 \text{ cm}^{-1} = 156 \text{ cm}^{-1}$.

With a decrease in temperature below $T < 240 \text{ K}$, the peak at ω_2 becomes asymmetric and may be presented as a two peaks at the frequencies $\omega_{2,1} \approx 273 \text{ cm}^{-1}$, $\omega_{2,2} \approx 296 \text{ cm}^{-1}$ that is illustrated in fig. 2. The temperature dependence of $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ Raman spectra is similar to spectra observed in CaMnO_3 [16]. The linewidth for the 260 cm^{-1} modes in CaMnO_3 could not be measured above 520 K, due to the large overlapping of both peaks. This compound presents the orthorhombic P_{nma} perovskite crystal structure with Mn^{+4} ions and a Jahn-Teller distortion of oxygen octahedral is not observed.

The composite form of Raman spectra at $\omega_2 = 273\text{...}298 \text{ cm}^{-1}$, $T < 240 \text{ K}$ can be attributed to lift of degeneration of phonon modes along X direction in the Brillouin zone as a results of deformation of cubic cell. A distinct character of change in modes intensity at lowering of temperature is shown in fig. 2 by dotted lines.

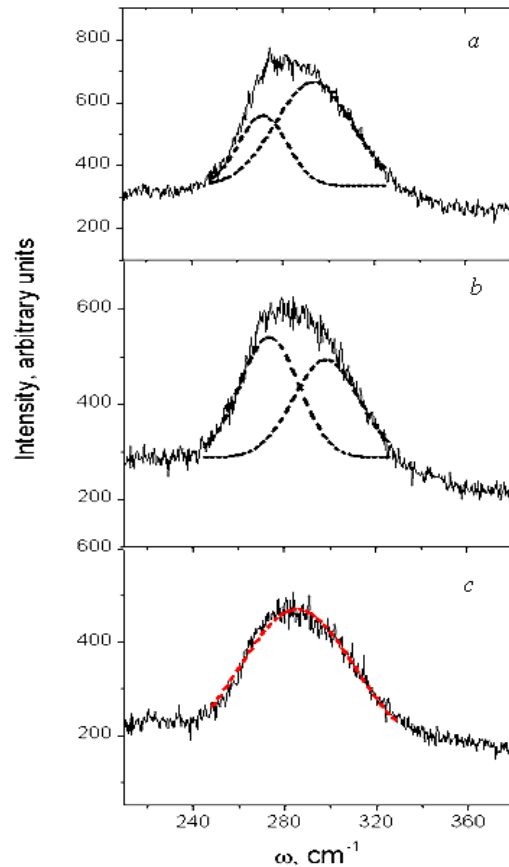


Fig. 2. Raman spectra versus frequency at temperatures of 210 K (a), 230 K (b), 250 K (c) and fitting function for two modes with frequency $\omega_{2,1} \approx 272 \text{ cm}^{-1}$ and $\omega_{2,2} \approx 296 \text{ cm}^{-1}$

Distinction of temperatures, at which feature of characteristic start to manifest by Raman spectra $T_{or} = 240\text{K}$, also exists in the doped manganites.

As T approaches T_{JT} , the structural fluctuations are large enough to break the cooperativeness of the orbital ordering, leading to an average cubic crystal structure at the JT transition [17]. It is interesting to mention that the measured values of the phonon linewidths and intensity for LaMnO_3 , in particular for the bending and stretching modes, are of the order of those found in amorphous materials, suggesting the existence of a high level of structural disorder at $T > T_{or}$ [17].

Change in the shape of line of Raman spectra is attributed to deformation of cubic structure and lifting degeneration of transverse phonon modes along X direction in the Brillouin zone at $T \leq 240$ K at which is observed the maximum the magnetoelectric effect [18] arisen from formation of orbital order. For $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solution the average crystal structure is not reveal cooperative distortion of the MnS_6 octahedron at $T > 240$ K. However, above this temperature the short-range orbital ordering may still persist. Below temperature 240 K the degeneration of t_{2g} orbitals is lifted as results of small deformation of octahedron, that leads to splitting phonon modes in the points Brillouin zone. At frequency ω_1 , the line is very narrow and its shape and frequency are temperature-independent, while the mode intensity decreases by 20 % and becomes temperature-independent at $T > 230$ K.

References

1. Kugel K. I., Khomskii D. I. Polaron effects and exchange interaction in magnetic insulators with Jahn–Teller ions // *Sov. Phys. JETP*. 1981. Vol. 52. P. 501–515.
2. Tokura Y., Nagaosa N. Orbital physics in transition-metal oxides // *Science*. 2000. Vol. 288. P. 462–468.
3. Orbital and charge ordering in $\text{Pr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0$ and 0,5) from the ab initio calculations / V. I. Anisimov, I. S. Elfimov, M. A. Korotin, K. Terakura // *Phys. Rev. B*. 1997. Vol. 55. P. 15494–15499.
4. Salamon M. B., Jaime M. The physics of manganites: structure and transport // *Rev. Mod. Phys.* 2001. Vol. 73. P. 583–628.
5. Sawada H., Terakura K. Orbital and magnetic orderings in localized t_{2g} systems, YTiO_3 and YVO_3 : comparison with a more itinerant e_g system LaMnO_3 // *Phys. Rev. B*. 1998. Vol. 58. P. 6831–6836.
6. Temperature – induced magnetization reversal in a YVO_3 single crystal / Y. Ren, T. T. M. Palstra, D. I. Khomskii et al. // *Nature*. 1998. Vol. 396. P. 441–444.
7. Lattice effects in YVO_3 single crystal / C. Marquina, M. Sikora, M. R. Ibarra et al. // *JMMM*. 2005. Vol. 290–291. P. 428–430.
8. Local lattice distortion during the spin – state transition in LaCoO_3 / S. Yamaguchi, Y. Okimoto, Y. Tokura // *Phys. Rev. B*. 1997. Vol. 54. P. R8666–R8669.
9. Intermediate – spin state and properties of LaCoO_3 / M. A. Korotin, S. Yu. Ezhov, I. V. Solovyev et al. // *Phys. Rev. B*. 1996. Vol. 54. P. 5309–5316.
10. Lattice and charge excitations in $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ / P. Bjornsson, M. Rubhausen, J. Backstrom et al. // *Phys. Rev. B*. 2000. Vol. 61. P. 1193–1197.
11. Order – disorder in the Jahn–Teller transition of LaMnO_3 : A Raman Scattering study / E. Granado, J. A. Sanjurjo, C. Rettori et al. // *Phys. Rev. B*. 2000. Vol. 62. P. 11304–11307.
12. Raman spectroscopy of polycrystalline $\alpha\text{-MnSe}$ / A. Milutinovic, Z. V. Popovic, N. Tomic, S. D. Devic // *Materials Science Forum*. 2004. Vol. 453–454. P. 299–304.
13. Measurement and comparative analysis of the second order Raman spectra of the alkaline – earth oxides with NaCl structure / K. H. Rieder, B. A. Weinstein, M. Cardona, H. Bilz // *Phys. Rev. B*. 1973. Vol. 8. P. 4780–4786.
14. Raman and optical spectroscopic studies of small-to-large polaron crossover in the perovskite manganese oxides / S. Yoon, H. L. Liu, G. Schollerer et al. // *Phys. Rev. B*. 1998. Vol. 58. P. 2795–2801.
15. Chou H-h., Fan H. Y. Light scattering by magnons in CoO , MnO and $\alpha\text{-MnS}$ // *Phys. Rev. B*. 1976. Vol. 13. P. 3924–3938.
16. Transport properties and ferromagnetism of $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ sulfides / S. S. Aplesnin, L. I. Ryabinkina, O. B. Romanova et al. // *J. of Experimental and Theoretical Physics*. 2008. Vol. 106. P. 765–772.
17. Neutron – diffraction study of the Jahn–Teller transition in stoichiometric LaMnO_3 / J. Rodriguez-Carvajal, M. Hennion, F. Moussa et al. // *Phys. Rev. B*. 1998. Vol. 57. P. R3189–R3192.
18. The interrelation of magnetic and dielectric properties of $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions / S. S. Aplesnin, O. N. Bandurina, O. B. Romanova et al. // *J. Phys.: Condens. Matter*. 2010. Vol. 22. P. 226006–226012.

C. С. Аплеснин, О. Б. Романова, А. С. Крылов, Hsiang-Lin Liu, И. В. Алдашев

ИССЛЕДОВАНИЕ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОВ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$

На твердых растворах $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ проведены исследования температурных зависимостей рамановских спектров в интервале частот $100 \dots 1200 \text{ см}^{-1}$ и температур $100 \dots 300 \text{ К}$. Изучение рамановских спектров позволило установить наличие сильных орбитальных флуктуаций в виде сложной формы линии на $\omega_2 = 273 \dots 298 \text{ см}^{-1}$, возникающих в результате расщепления фононной моды с различными температурными зависимостями интенсивности ниже перехода орбитального упорядочения.

Ключевые слова: магнитно-упорядоченные материалы, рамановские спектры, спин-орбитальный эффект, орбитальные флуктуации, сульфиды.

© Aplesnin S. S., Romanova O. B., Krylov A. S., Hsiang-Lin Liu, Aldashev I. V., 2011

Д. В. Вавилов, А. А. Иптышев, А. П. Смирнов, Д. В. Елисеев, М. М. Колегова

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОФИЛЯ НАКАТНОГО МЕЛКОМОДУЛЬНОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО МИКРОСКОПА

Представлена методика сравнительного анализа профилей накатных мелко модульных зубчатых колес, приводов специального назначения, полученных в результате имитационного моделирования и натурального эксперимента.

Ключевые слова: имитационное моделирование, накатные мелко модульные зубчатые колеса, цифровой микроскоп.

В настоящее время компьютерное моделирование является одним из эффективных инструментов исследования сложных процессов и явлений за счет минимизации дорогостоящих натуральных экспериментов [1]. В условиях глобализации экономики эффективность разработки инновационного продукта существенным образом зависит от «скорости» продвижения товара до потребителя и возникает необходимость оценки качественных показателей изделия на этапе проектирования. В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что адекватность применяемых в проектировании моделей описания инновационного продукта (процесса) является одним из определяющих факторов его конкурентоспособности.

Одной из перспективных технологий изготовления передаточных механизмов с использованием зубчатых передач, в частности мелко модульных, является профилирование накатыванием (накатка). Данная технология позволяет минимизировать материалоемкость изделия до 20 % и повысить прочность поверхности рабочего профиля до 30–40 % [2]. Формообразование эвольвентного зубчатого профиля пластическим деформированием является сложным физико-механическим процессом. В отечественной практике проектирования отсутствует универсальная методика проектирования накатных мелко модульных зубчатых передач с использованием современных вычислительных средств. В работе [3] предлагается комплексная методика проектирования накатных мелко модульных зубчатых передач из условия обеспечения заданных показателей качества. Для апробации адекватности используемых математических моделей описания профилей накатных зубчатых колес и профилей, полученных экспериментально, необходимо создание аппаратно-программных средств для считывания и обработки данных с использованием ЭВМ.

Одним из возможных средств для решения данной задачи для мелко модульных зубчатых пар является использование цифрового микроскопа, к преимуществам которого можно отнести большое увеличение; вывод изображения непосредственно в персональный компьютер; наличие измерительной шкалы; возможность масштабирования изображения в координатную систему численной модели.

В данной работе предлагается к рассмотрению методика анализа профиля накатного мелко модульного зубчатого колеса с помощью цифрового микроскопа.

Для апробации методики рассмотрим несколько численных и натуральных моделей накатных зубчатых колес с различными параметрами формообразования и геометрией накатного инструмента. В моделях использовался профиль колеса, накатанного при одноступенчатом внедрении в соответствии с натурным экспериментом с параметрами накатника $z_n = 198$; $m = 0,3$ мм; $x = 0$; накатываемого колеса $z_k = 76$; $m = 0,3$; $x = 0$.

Геометрия накатного зубчатого колеса зависит от технологических параметров [2]. Современные САЕ-среды позволяют осуществить имитационное моделирование процессов формообразования накатыванием с использованием метода конечных элементов (рис. 1). Так, например, при численном моделировании в среде MSC.Marc одноступенчатого внедрения накатника (за один проход), образуется асимметрия боковых поверхностей зуба (рис. 1, а). При непрерывном или многоступенчатом внедрении накатника геометрия накатанного колеса симметрична (рис. 1, б), по аналогии с ранее проведенными исследованиями [3].

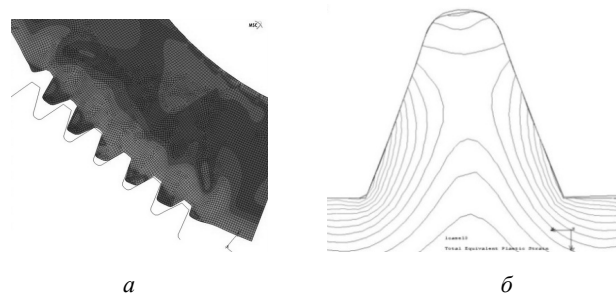


Рис. 1. Геометрия колеса, полученная в результате моделирования накатки:
а – при одноступенчатом внедрении; б – при многоступенчатом внедрении

Однако верификация численных моделей проектирования накатных мелко модульных зубчатых передач из условия обеспечения заданных показателей качества требует апробации на экспериментальном образце мелко модульного колеса. Для проведения натуральных экспериментов авторским коллективом разработана экспериментальная лабораторная установка для накатывания мелко модульных колес. Установка представляет собой станочное приспособление, устанавливаемое вместо резцедержателя на станок 16К20 (рис. 2). В процессе накатывания прутковая заготовка закреп-

ляется в патроне, входит в зацепление с накатниками, установленными в приспособлении. При этом накатники смещены вдоль оси вращения, следовательно, в начальный момент времени заготовка вступает в зацепление с одним накатником, затем со вторым, что обеспечивает правильное деление заготовки.



Рис. 2. Станочное приспособление для накатывания мелкозубчатых колес

Для анализа геометрии накатного колеса, полученного в результате натурного эксперимента, с помощью цифрового микроскопа с размерной шкалой фотографировался торец колеса. В нашем случае для сравнения результатов численного и натурного экспериментов использовался цифровой микроскоп Webbers G50. Затем фотоснимок импортировался в САД-пакет, масштабировался согласно измерительной шкале, после чего производились замеры. Инструментальная погрешность измерений при таком подходе составляет $\pm 3,5$ мкм. Для сравнения геометрии накатанных зубчатых профилей с математической моделью измеряемая область профиля разбивалась на равные промежутки и определялось расстояние (радиус-вектор) от центра колеса до пересечения поверхности зуба и измерительной прямой (рис. 3).



Рис. 3. Измерение геометрии зуба накатного колеса

Для автоматизации достаточно трудоемкого процесса измерения профиля зуба колеса, полученного при помощи натурного эксперимента, был разработан авторский программный модуль для импорта геометрии из САЕ-пакета в САД-среду SolidWorks [4]. Затем в САД-среде были произведены измерения численной модели зуба аналогично (рис. 4) профилю зуба, полученному в ходе натурного эксперимента.

Для минимизации погрешности измерений были произведены измерения 20 натуральных образцов и

20 образцов (рис. 5), полученных в результате компьютерного моделирования, так как выборочные значения числовых характеристик являются надежными количественными оценками значений генеральных характеристик лишь при большом объеме выборки [5].

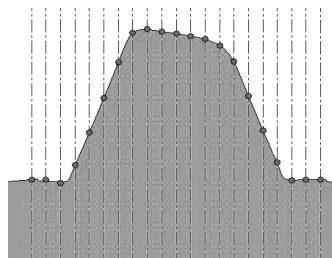


Рис. 4. Измерение геометрии зуба колеса, полученного в ходе численного эксперимента

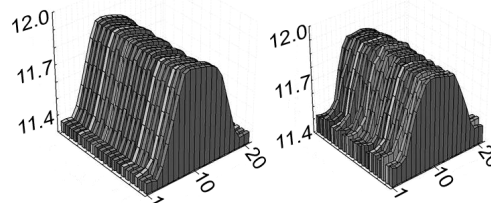


Рис. 5. Координаты численного и натурального профилей

Обработка экспериментальных данных проводилась в пакете Statistica 8.0 (рис. 6). Сравнение результатов натурального и имитационного эксперимента проведено по распределению выборочных среднего (рис. 6, а), медианы (рис. 6, б) и дисперсии измерений (рис. 6, в) точек профиля 20 зубьев.

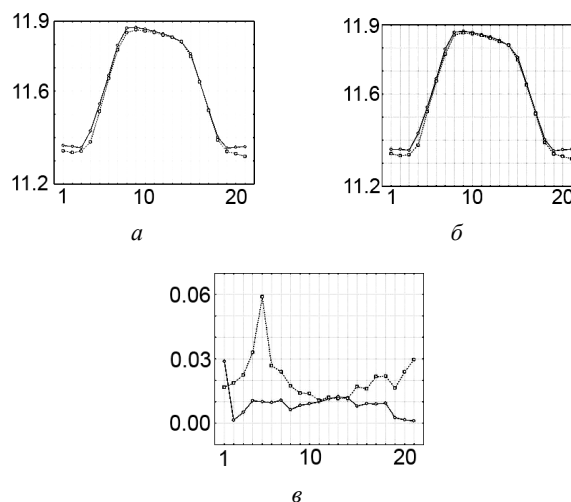


Рис. 6. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований:
а – средние значения радиус-вектора; б – значения медиан радиус-вектора; в – значения дисперсий радиус-вектора

Максимальное расхождение наблюдалось у медиан точек профилей (рис. 6, б) и составляло 46 мкм на точке 4. Проведенные исследования доказывают со-

стоятельность выбранных моделей численного моделирования при проектировании накатных мелко-модульных зубчатых передач из условия обеспечения заданных показателей качества.

В результате проделанной работы была подтверждена адекватность проведенных экспериментов и имитационного моделирования процесса накатки мелко-модульных зубчатых колес, а также разработана методика измерения геометрии мелко-модульных зубчатых колес на основе использования цифрового оптического микроскопа и обработки изображения на ЭВМ.

Библиографические ссылки

1. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб. : БХВ-Петербург, 2005.

2. Барбарич М. В., Хоруженко М. В. Накатывание цилиндрических зубчатых колес. М. : Машиностроение, 1970.

3. Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Усаков В. И. Моделирование накатывания мелко-модульных цилиндрических зубчатых передач с заданными показателями качества // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 67–70.

4. Автоматизированный программный модуль для экспорта геометрии зубчатых колес в САД-среду SolidWorks : программа для ЭВМ : свидетельство о гос. регистрации № 2009613284 / А. П. Смирнов, Д. В. Вавилов, А. А. Иптышев, Д. Б. Елисеев. № 2009612213 ; заявл. 13.05.2009.

5. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. М. : Машиностроение, 1985.

D. V. Vavilov, A. A. Iptyshev, A. P. Smirnov, D. V. Eliseev, M. M. Kolegova

METHOD OF ROLLED FINE PITCH SPUR GEAR ANALYSIS BY DIGITAL MICROSCOPE

In the article the authors present a method of comparative analysis of rolled fine pitch spur gear, special needs drives, made by numeric simulation and natural experiment.

Keywords: simulation modeling, rolled fine pitch spur gear, digital microscope.

© Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Смирнов А. П., Елисеев Д. В., Колегова М. М., 2011

УДК 621.31:51

П. В. Валь

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОФАКТОРНЫХ МЕТОДОВ

Проведен анализ качества краткосрочного прогнозирования электропотребления предприятия горной промышленности с использованием популярных однофакторных методов прогнозирования (сезонной модели АРПСС, метода Хольта–Винтерса, а также наивного метода).

Ключевые слова: электропотребление, прогнозирование, модель АРПСС, метод Хольта–Винтерса, наивный метод.

Устойчивое развитие горной промышленности в значительной мере зависит от повышения ее конкурентоспособности за счет снижения издержек производства. В настоящее время для предприятий отрасли характерен опережающий рост уровня электропотребления по сравнению с ростом выпуска продукции. Это связано с изменением условий добычи и переработки полезных ископаемых, внедрением природоохранных программ и т. д. В последние годы также наблюдается устойчивый рост цен на электроэнергию. Таким образом, особую актуальность приобретает снижение затрат на электроэнергию, которая составляет значительную часть себестоимости продукции предприятий горной промышленности.

Для решения поставленной задачи можно выделить два основных направления:

- снижение электропотребления за счет повышения эффективности использования энергоресурсов;
- снижение удельной стоимости потребленной электроэнергии.

Одним из возможных путей снижения удельной стоимости потребленной электроэнергии является ее покупка на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Однако правила функционирования ОРЭМ предусматривают жесткие требования к его участникам по прогнозированию планового почасового электропотребления. Так, участники ОРЭМ в сутки, предшествующие операционным, должны подавать администратору торговой системы почасовую заявку на электропотребление для каждого часа операционных суток. Неправильная подача заявок на электроэнергию может привести, во-первых, к значи-

тельными экономическим потерям, вызванным покупкой/продажей электроэнергии на балансирующем рынке (БР) и оплатой части отрицательного небаланса БР энергосистемы, и, во-вторых, к наложению санкций со стороны коммерческого оператора. Таким образом, для участников ОРЭМ необходимым условием их нормального функционирования является наличие методики прогнозирования почасового электропотребления, обеспечивающей приемлемое качество прогнозных расчетов.

К настоящему времени разработано большое число методов прогнозирования электропотребления, однако не существует универсального метода, который мог бы с одинаковым успехом применяться для различных типов объектов [1]. Это вызвано главным образом тем, что любой объект прогнозирования, будь то региональная энергосистема или конкретное промышленное предприятие, обладает уникальным характером электропотребления и сложными зависимостями между электропотреблением и влияющими на него факторами. В связи с этим возникает задача выбора методики прогнозирования электропотребления, обладающей удовлетворительным качеством прогноза.

На практике нередко ситуации, когда отсутствует достоверная информация о том, какие именно факторы влияют на процесс электропотребления, а также о количественном влиянии и каждого из них в отдельности, и их произвольных комбинаций. Возможным вариантом выхода из таких ситуаций является использование однофакторных методов прогнозирования (моделей на основе временных рядов), в которых определение прогнозных значений переменной осуществляется на основе прошлых и текущих значений этой же переменной.

Автором был проведен анализ качества краткосрочного прогнозирования электропотребления предприятия горной промышленности на примере ООО «Сорский горно-обогатительный комбинат» (Сорский ГОК) с использованием популярных однофакторных методов прогнозирования: сезонной модели АРПСС, метода Хольта–Винтерса, а также наивно-го метода.

Характеристика объекта исследования. Основной производственный цикл ООО «Сорский ГОК» включает в себя добычу молибденовой руды, ее обогащение, т. е. получение молибденового концентрата, и производство конечной продукции – ферромолибдена. На предприятии также существует ряд вспомогательных производств.

Электропотребление горных предприятий при добыче и обогащении руд имеет специфические особенности, вызванные его случайным характером, связанным с влиянием значительного числа горно-геологических, технологических, производственных, климатических и других факторов, и представляет собой сложный нестационарный процесс (рис. 1).

По приведенному на рис. 1 участку временного ряда можно судить об особенностях электропотребления ООО «Сорский ГОК». Отчетливо прослежива-

ется суточный цикл продолжительностью 24 ч. В пределах суток наблюдаются циклы продолжительностью 8 и 12 ч, вызванные смешанным характером работы предприятия в три смены по 8 ч и в две смены по 12 ч. Недельный цикл продолжительностью 168 ч практически не прослеживается из-за непрерывности рабочего цикла. Временной ряд также содержит провалы электропотребления, вызванные плановыми отключениями части электроприемников предприятия.

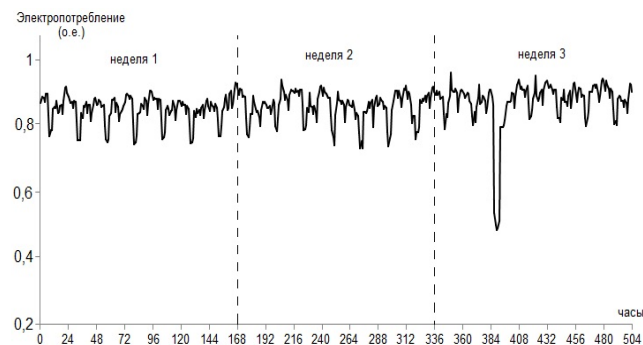


Рис. 1. Почасовые значения электропотребления с 5 по 25 января 2009 г.

Описание методов прогнозирования. *Сезонная модель авторегрессии интегрированного скользящего среднего (АРПСС)* (Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA), разработанная Дж. Боксом и Г. Дженкинсом [2], позволяет прогнозировать нестационарные циклические временные ряды.

Сезонная модель Бокса–Дженкинса может быть представлена в виде

$$ARIMA(p, d, q) \cdot (P_s, D_s, Q_s)_s, \quad (1)$$

где p – порядок составляющей авторегрессии; d – порядок разности дискретной производной; q – порядок скользящего среднего; P_s – порядок сезонной авторегрессии; D_s – порядок сезонной разности (сезонной производной); Q_s – порядок сезонного скользящего среднего; s – период сезонности.

Нестационарные ряды, содержащие сезонные колебания, приводят к стационарным с помощью взятия последовательных разностей между соседними элементами (несезонных разностей) и элементами, отстоящими друг от друга на значение периода сезонности s .

После взятия разностей ряд становится стационарным, т. е. удовлетворяющим условиям модели (1). Разностный ряд может быть представлен в виде

$$\Delta Y_t = \Delta^d Y_t + \Delta^{D_s} Y_t, \quad (2)$$

$$\Delta^d Y_t = \alpha_1 \cdot Y_{t-1} + \dots + \alpha_p \cdot Y_{t-p} + \varepsilon_t - \beta_1 \cdot \varepsilon_{t-1} - \dots - \beta_q \cdot \varepsilon_{t-q}, \quad (3)$$

$$\Delta^{D_s} Y_t = \gamma_1 \cdot Y_{t-s} + \dots + \gamma_{P_s} \cdot Y_{t-P_s \cdot s} + \varepsilon_t - \delta_1 \cdot \varepsilon_{t-s} - \dots - \beta_{Q_s \cdot s} \cdot \varepsilon_{t-Q_s \cdot s}, \quad (4)$$

где $\Delta^d Y_t$ – несезонная составляющая порядка p , d , q коэффициентов линейной регрессии α между элементами ряда Y_t и коэффициентов линейной регрессии β между значениями ошибок ε_t ; $\Delta^{D_s} Y_t$ – сезонная составляющая порядка P_s , D_s , Q_s коэффициентов линейной регрессии γ между элементами ряда Y_t и коэффициентов линейной регрессии δ между значениями ошибок ε_t .

Для возврата к исходному временному ряду и получения прогноза необходимо выполнить обратную операцию, т. е. проинтегрировать данные:

$$Y_t = Y_{t-1} + \Delta Y_t. \quad (5)$$

Метод Хольта–Винтерса (Holt–Winters) является усовершенствованием метода экспоненциального сглаживания временного ряда. Этот метод учитывает линейный тренд и мультипликативную сезонность [3; 4]. Его математическое описание может быть представлено в виде системы уравнений

$$\begin{cases} \Omega_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(\Omega_{t-1} - T_{t-1}), \\ T_t = \beta(\Omega_t - \Omega_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}, \\ S_t = \gamma \frac{Y_t}{\Omega_t} + (1-\gamma)S_{t-s}, \\ \hat{Y}_{t+p} = (\Omega_t + pT_t)S_{t-s+p}, \end{cases} \quad (6)$$

где \hat{Y}_{t+p} – прогноз на p отсчетов по времени вперед; Y_t – реальное значение на момент времени t ; s – период сезонности; Ω_t и T_t – сглаженный уровень и тренд; S_t – сезонный индекс суточного цикла; α , β и γ – параметры сглаживания.

Самым простым из возможных методов прогнозирования является *наивный метод* (naïve). Выражение для сезонного наивного метода имеет вид [4]

$$\hat{Y}_{t+p} = Y_{t-s+p}, \quad (7)$$

где \hat{Y}_{t+p} – прогноз на p отсчетов по времени вперед.

Описание эксперимента. Анализ качества прогнозирования электропотребления ООО «Сорский ГОК» выбранными методами проводился с помощью пассивного статистического эксперимента. В ходе эксперимента был выбран временной ряд электропотребления с 15 декабря 2008 г. по 15 марта 2009 г., содержащий 2 184 почасовых значений (рис. 2).

Из второй части этого ряда с помощью генератора случайных чисел случайным образом были выбраны 10 сут, для которых впоследствии строился прогноз. Для сезонной модели АРПСС и метода Хольта–Винтерса оценивание неизвестных параметров и построение прогноза осуществлялось для различных периодов оснований прогноза (периодов предыстории) (от 240 до 1 200 значений с интервалом 120).

Идентификация сезонной модели АРПСС, т. е. определение порядков авторегрессии (p , P_s), скользяще-

го среднего (q , Q_s) и разности (d , D_s) в формуле (1), опиралась на исследование графиков рядов, автокорреляционных функций и частных автокорреляционных функций. Этап идентификации является основным в получении модели, от принятых на нем решений зависит ее адекватность и точность прогнозирования. По результатам идентификации было принято решение об использовании модели $ARIMA(1,0,0) \cdot (0,1,1)_{24}$.

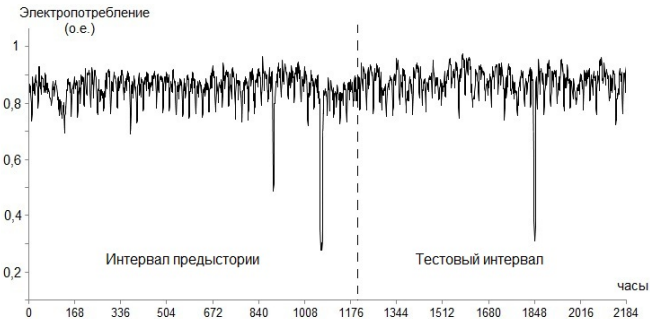


Рис. 2. Временной ряд электропотребления, используемый в эксперименте

Для данной спецификации модели АРПСС неизвестными параметрами являются значения коэффициентов α_1 и δ_1 в формулах (3) и (4). Для их оценивания был использован квазиньютоновский алгоритм максимизации правдоподобия, заключающийся в нахождении таких параметров модели, при которых сумма квадратов остатков будет наименьшей. Получены следующие значения параметров модели АРПСС: $\alpha_1 = 0,81$, $\delta_1 = 0,64$.

Для прогнозирования с помощью метода Хольта–Винтерса необходимо оценить параметры сглаживания α , β и γ в системе (6). Оценивание этих параметров также производилось с помощью квазиньютоновского алгоритма минимизации квадратичной ошибки прогнозирования на расчетном множестве. В результате определены следующие значения параметров сглаживания модели Хольта–Винтерса: $\alpha = 0,82$, $\beta = 0,00$, $\gamma = 0,06$.

При прогнозировании наивным методом согласно формуле (7) в качестве прогнозных использовались значения электропотребления соответствующих часов предыдущих суток.

После определения параметров моделей был проведен анализ их адекватности.

Анализ адекватности моделей. Под *адекватностью модели* понимается степень совпадения свойств модели и моделируемого объекта. Причиной ошибочного прогноза является наличие источников регулярных и нерегулярных ошибок. К источникам регулярных ошибок относят неадекватный метод прогнозирования, недостоверные и недостаточные исходные данные и т. п. Причиной нерегулярных (случайных) ошибок является непредсказуемость развития объекта прогнозирования. Таким образом, в ходе анализа аде-

кватности прогнозирующей модели производится проверка остатков (ошибок):

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t,$$

где Y_t – фактическое значение; \hat{Y}_t – прогнозное значение.

При корректном выполнении моделирования остатки должны являться результатом случайного рассеяния, а не доминирующего действия какого-либо неконтролируемого и неуправляемого воздействия [5].

Анализ остатков включает в себя их проверку на нормальность распределения, нулевое математическое ожидание, однородность дисперсий и отсутствие значимой сериальной автокорреляции.

Для предварительного графического анализа адекватности удобно перейти к стандартизированным остаткам:

$$se_t = \frac{e_t}{\sigma_e},$$

где σ_e – стандартное отклонение остатков.

По характеру поведения этих остатков можно судить о степени их принадлежности белому шуму (рис. 3). Кроме того, по результатам графического анализа строятся гистограмма распределения остатков и их автокорреляционная функция.

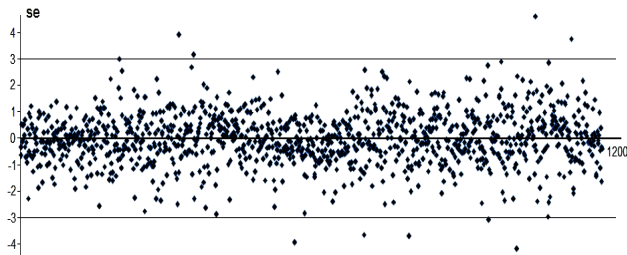


Рис. 3. Стандартизированные остатки сезонной модели АРПСС

Строгая проверка гипотезы о соответствии распределения остатков нормальному закону распределения осуществляется по критерию согласия Пирсона. Нулевая гипотеза о соответствии эмпирического распределения нормальному принимается, если величина статистики (критерия расхождения) χ^2 не превосходит квантиль закона распределения $\chi^2_{кр}$ заданного уровня значимости α с заданным числом степеней свободы:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \leq \chi^2_{кр},$$

где n_i – число элементов выборки из i -го интервала; p_i – предполагаемая вероятность попадания в i -й интервал; n – общее число элементов выборки; k – число интервалов.

Для нахождения автокорреляции остатков используется Q -тест Льюнга–Бокса. Нулевая гипотеза об отсутствии значимой сериальной автокорреляции принимается, если значение статистики Q не превосходит

квантиль распределения $\chi^2_{кр}$ заданного уровня значимости α с заданным числом степеней свободы:

$$Q = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\rho_k^2}{n-k} \leq \chi^2_{кр},$$

где ρ_k – автокорреляция k -го порядка; n – число наблюдений; m – число проверяемых лагов.

Оценка адекватности модели может быть разной: от полной адекватности до частичной адекватности или неадекватности. Однако при составлении модели следует искать разумный компромисс: модель должна иметь достаточную для решения задачи адекватность и не быть очень сложной. В описываемом исследовании в ходе анализа адекватности было установлено, что степень адекватности используемых моделей можно считать достаточной, несмотря на то, что часто эти модели не проходили строгих тестов адекватности.

Результаты исследования. Для сравнения различных альтернативных прогнозов необходим критерий оценки качества прогноза [6]. В качестве меры оценки точности прогноза использовался традиционный показатель MAPE (Mean Absolute Percentage Error – среднеабсолютная процентная ошибка):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \cdot 100 \%,$$

где Y_t – фактическое значение; \hat{Y}_t – прогнозное значение; n – число наблюдений. Показатель MAPE характеризует относительную точность прогноза. При этом $MAPE > 0$.

Для оценки относительной степени смещения (постоянного занижения или завышения) прогноза использовался показатель MPE (Mean Percentage Error – средняя процентная ошибка):

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \cdot 100 \%.$$

При условии, что потери при прогнозировании, связанные с завышением фактического будущего значения, уравновешиваются его занижением, идеальный прогноз должен быть несмещенным, а MPE должна стремиться к нулю.

Результаты прогнозирования суточного почасового электропотребления на 26 февраля 2009 г. приведены ниже (рис. 4). Для рассматриваемых суток определены следующие значения ошибок MAPE (MPE): сезонная модель АРПСС – 2,91 % (–1,36 %); метод Хольта–Винтерса – 3,60 % (–3,24 %); наивный метод – 4,70 % (1,81 %).

Значения ошибок MAPE и MPE, полученные при проведении эксперимента, представлены в таблице.

В результате анализа качества прогнозирования электропотребления с использованием различных методов было установлено, что ни один из рассматриваемых методов не показал результата, значительно превосходящего результаты остальных методов. В среднем модель сезонной АРПСС показала несколько лучший результат, чем метод Хольта–Винтерса. Наивный метод в большинстве случаев давал наихудший результат.

Значения ошибок эксперимента

Метод	Показатель	Прогнозные сутки									
		14.03.09	26.02.09	23.02.09	12.02.09	24.02.09	7.02.09	3.02.09	15.03.09	8.02.09	7.03.09
Сезонная модель АРПСС	МАРЕ, %	4,59	2,94	2,00	3,98	1,98	1,87	3,40	2,09	2,44	3,23
	МРЕ, %	-4,40	-1,24	1,06	1,02	1,92	-0,97	3,36	1,28	1,48	-2,77
Хольта-Винтерса	МАРЕ, %	4,41	3,60	4,15	3,52	1,48	3,97	6,03	2,15	2,25	3,23
	МРЕ, %	-4,17	-3,04	3,98	-1,64	1,21	3,95	6,03	1,23	1,60	-2,98
Наивный	МАРЕ, %	4,14	4,70	3,87	5,83	2,93	5,65	3,52	4,55	3,45	4,70
	МРЕ, %	-3,64	1,81	0,88	1,06	2,54	-2,30	2,46	4,41	3,20	-3,97

Примечание. Для сезонной модели АРПСС и метода Хольта-Винтерса приведены средние значения ошибок.

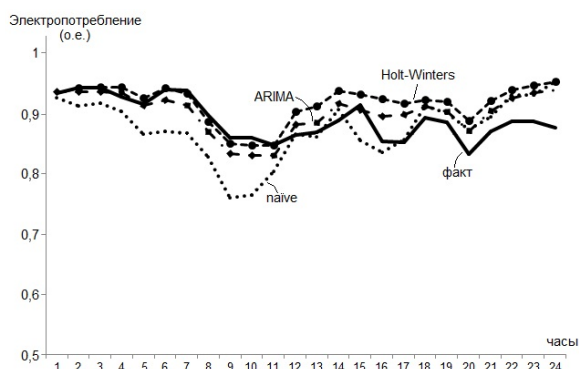


Рис. 4. Прогноз электропотребления ООО «Сорский ГОК» на 26 февраля 2009 г.

В сложившейся ситуации, когда нельзя выделить лучший метод, перспективным может быть применение для прогноза группы методов. В качестве результата можно использовать как среднее, так и взвешенное значение прогнозов, адаптивно подбирая веса для каждого метода. При этом менее точные методы вносят меньший вклад в общий прогноз. Прогноз, полученный группой методов, в среднем является более точным и надежным, чем прогноз, сделанный любым из методов группы в отдельности [6].

Результаты эксперимента показывают, что ошибка прогнозирования МАРЕ для различных дней изменяется в достаточно широком диапазоне. Такое изменение ошибки МАРЕ и высокая степень смещения прогнозов МРЕ свидетельствуют о том, что однофакторные методы прогнозирования не могут дать высокого качества прогнозирования для такого сложного объекта, как предприятие горной промышленности. Значительное изменение одного из влияющих факторов (горно-геологического, технологического, производственного или климатического) приводит к смещению прогноза, увеличению ошибки МАРЕ и, соответственно, к увеличению затрат на электроэнергию. Таким образом, однофакторные методы прогнозирования, такие как сезонная модель АРПСС и метод Хольта-Винтерса, могут применяться для прогнозирования сложного нестационарного процесса электропотребления горного предприятия, однако для более качествен-

ного прогнозирования необходимо использование многофакторных методов.

Перспективным направлением в области прогнозирования электропотребления является использование методов искусственного интеллекта, в первую очередь искусственных нейронных сетей и теории нечетких множеств. Модели на основе искусственных нейронных сетей и систем нечеткого вывода обладают рядом ценных свойств: способностью к аппроксимации сколь угодно сложных функций, воспроизведением сложных нелинейных зависимостей, способностью к обобщению, устойчивостью к помехам, отсутствием ограничений на характер входной информации и т. д. Однако использование любых достаточно сложных методов должно быть обосновано посредством анализа качества их прогнозирующих свойств по сравнению с более простыми методами. Одним из вариантов такого рода анализа является пассивный статистический эксперимент, рассмотренный в данной статье.

Библиографические ссылки

1. Шумилова Г. П., Готман Н. Э., Старцев Т. Б. Прогнозирование нагрузки ЭЭС на базе новых информационных технологий // Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами / Урал. отд-ние Рос. акад. наук. Екатеринбург, 2002. С. 127–156.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. В 2 т. М.: Мир, 1974.
3. Тихонов Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учеб. пособие. Невинномысск, 2006.
4. Taylor J. W., de Menezes L. M., McSharry P. E. A comparison of univariate methods for forecasting electricity demand up to a day ahead // Intern. J. of Forecasting. 2006. Vol. 22. P. 1–16.
5. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов [Электронный ресурс]. URL: <http://gnatukvi.ru/ind.html> (дата обращения: 30.09.2010).
6. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе / под ред. проф. В. В. Харитоновой; Моск. инж.-физ. ин-т. М., 1998.

P. V. Val

SHORT-TERM FORECASTING OF MINING ENTERPRISE ENERGY DEMAND BY UNIVARIATE METHODS

In this paper the author performs analysis of short-term forecasting quality of mining enterprise energy demand, using the popular univariate forecasting methods (seasonal ARIMA, Holt-Winters method, and naive method).

Keywords: energy consumption, forecasting, ARIMA, Holt-Winters method, naive method.

© Валь П. В., 2011

УДК 62-506.1

П. В. Зеленков, Г. А. Сидорова

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ HITS*

Показана проблема современных поисковых систем, связанная с ранжированием документов. Для решения данной проблемы в процессе поиска и обработки информации предлагается использовать модифицированный алгоритм HITS. Данный подход помогает решать проблемы поиска, определения релевантности найденной информации, а также производить ранжирование отклика системы.

Ключевые слова: HITS, ранжирование, обработка информации, поиск информации.

В настоящее время при создании и развитии технологий сбора и обработки информации основное внимание уделяется развитию существующих технологий, нацеленных на анализ баз данных поисковых сервисов сети Интернет, и развитию алгоритмов ранжирования [1; 2]. Однако если встает вопрос об организации подобных процедур в рамках локальных корпоративных систем, то возникает проблема в анализе информации и ее взаимосвязей на локальном уровне.

На сегодняшний день существует множество алгоритмов ранжирования информации в поисковых системах сети Интернет [3]. Один из самых распространенных – это алгоритм Клейнберга, для которого создано несколько модификаций. Наиболее значимым является метод HITS, который заключается в присвоении каждому документу в веб-множестве некоторых значений, которые называются весами документа. Существует два вида таких весов: a (authority) – вес авторитетного документа и h (hub) – вес хаб-документа. Авторитетный документ – это документ, соответствующий запросу пользователя, имеющий больший удельный вес среди документов данной тематики, т. е. большее число документов ссылается на данный документ. Хаб-документ – это документ, содержащий много ссылок на авторитетные документы. Соответственно, для каждой страницы рассчитывается не один, а два веса. Такой подход обусловлен наличием в Сети большого числа сообществ, т. е. наборов страниц близкой тематики, которые весьма сильно связаны друг с другом ссылками. Исходя из значе-

ний весов, происходит формирование множества поиска и его ранжирование по релевантности.

Такой подход очень удобен, так как позволяет находить больше документов, соответствующих заданной тематике. Однако у него есть и недостатки, которые естественным образом вытекают из достоинств: во множество найденных документов может попасть большое количество страниц с низким коэффициентом релевантности, которые, тем не менее, имеют много ссылок друг на друга, и именно им будут присвоены наивысшие ранги. Это явление называется смещением тематики (diffusion, drift). Обычно оно происходит в направлении более широкой предметной области (или лучше представленной в Сети). Для решения этой проблемы Клейнберг предложил использовать анализ содержимого страниц, но оценивать не отдельные страницы, а разные сообщества целиком.

Описание модифицированного метода. Модифицированный метод может быть полезен для поиска как в корпоративных информационно-управляющих системах, так и в локальных и глобальных сетях. Основа метода – избирательный поиск не по всему веб-пространству, а по документам, принадлежащим внутренней сети.

Его очень удобно использовать в организациях, специализирующихся на узкой тематике и имеющих обширную базу данных. Разработанная на базе этого метода поисковая система будет не только обрабатывать нужные документы, но и производить пополнение внутренней базы документами смежной тематики, найденными в Сети.

*Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Рассмотрим предлагаемый метод подробнее. Для этого введем обозначения: $\{W\}$ – множество документов Сети; $\{K\}$ – множество документов сети (корпоративной, локальной).

Каждое множество содержит конечное число элементов. Пусть W содержит N элементов, а K содержит M элементов, причем $M < N$. Тогда каждый документ можно представить в одном из следующих видов:

$d_i \in W, 1 \leq i \leq N$, если документ принадлежит Сети;

$d_j \in K, 1 \leq j \leq M$, если документ принадлежит локальной сети.

Особо ценными для корпоративных сетей являются документы вида $d_j \in K/W$, т. е. внутренние документы корпоративной сети.

Поиск документов производится по объединению этих множеств, т. е. по $W \cup K$ (рис. 1).

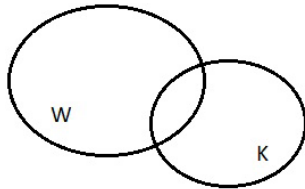


Рис. 1. Множество поиска

На множестве поиска строим граф G , называемый графом поиска. Для этого выделим множество документов R , которое представляет собой множество вершин графа G , и множество A ссылок между документами, которое является множеством ребер графа G . Таким образом, граф $G[R, A]$ – граф поиска, в котором можно выделить подграф $G'[R', A]$, где R' – множество документов, принадлежащих локальной сети, т. е. элементами которого являются документы вида $d_j \in K, 1 \leq j \leq M$; A' – множество входящих и исходящих ссылок, принадлежащих документам из R' (рис. 2).

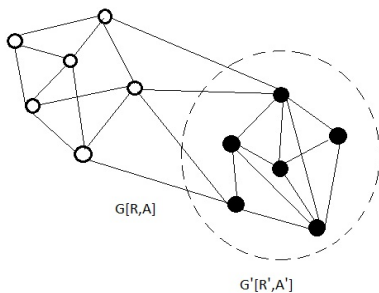


Рис. 2. Граф поиска

Ссылки в документах встречаются двух типов – входящие и исходящие. Количество входящих ссылок определяет авторитетный документ, количество исходящих ссылок определяет хаб-документ. Рассчитаем формулу для вычисления весов. Если вершина U является хаб-документом, а вершина V – авторитетный документ, то $U \rightarrow V; U, V \in G[R, A]$. Пусть на доку-

мент V ссылаются n хаб-документов, тогда $U_i \rightarrow V; U_i, V \in G[R, A], i = 1..n$. Аналогично формуле из метода HITS, вес авторитетного документа V вычисляется следующим образом:

$$A(V) = a_v \sum_{\substack{i=1 \\ U_i \rightarrow V}}^n H(U_i),$$

где $H(U_i)$ – веса хаб-документов $U_i, i = 1..n$; a_v – индекс сети, который мы приняли равным 1, в случае если документ V не принадлежит внутренней сети, 2 – если документ V принадлежит внутренней сети, т. е.

$$a_v = \begin{cases} 1, & \text{если } V \in W/K, \\ 2, & \text{если } V \in K. \end{cases}$$

Таким образом, веса авторитетных документов, принадлежащих внутренней сети, будут в два раза выше, чем веса внешних авторитетных документов. Иными словами, релевантность документов сети будет выше, что позволит экономить внешний трафик и значительно увеличит скорость работы корпоративной сети.

Веса хаб-документов вычисляются через веса авторитетных документов. Пусть хаб-документ U ссылается на m авторитетных документов, т. е. $U \rightarrow V_j; U, V_j \in G[R, A], j = 1..m$.

Тогда вес документа U вычисляется по формуле

$$H(U) = a_v \sum_{\substack{j=1 \\ U \rightarrow V_j}}^m A(V_j),$$

где $A(V_j)$ – веса авторитетных документов $V_j, j = 1..m$; a_v – индекс сети.

Для каждого документа рассчитываются два веса: вес документа как первоисточника (авторитетный вес) и вес документа как посредника (хаб-вес). Документы, принадлежащие внутренней сети, после ранжирования будут иметь приоритетный ранг по сравнению с документами Сети, что позволит пользователю просматривать их в первую очередь.

Этапы работы модифицированного алгоритма. Модифицированный алгоритм HITS работает аналогично алгоритму, созданному Клейнбергом.

На первом этапе происходит составление корневого множества документов, релевантных запросу – Root Set. Для этого производится поиск по ключевым словам в базе данных информационно-управляющей системы и из ответа извлекается k первых результатов. Возьмем $k \leq 200$ и рассмотрим процесс формирования Root Set (рис. 3).

На втором этапе к страницам из Root Set добавляются их ближайшие соседи, т. е. те страницы, на которые ссылаются страницы из Root Set, и те, которые сами имеют ссылки на страницы Root Set. Для поиска последних также используется поисковая система, причем берется не более d входящих ссылок на одну страницу. Так строится Base Set.

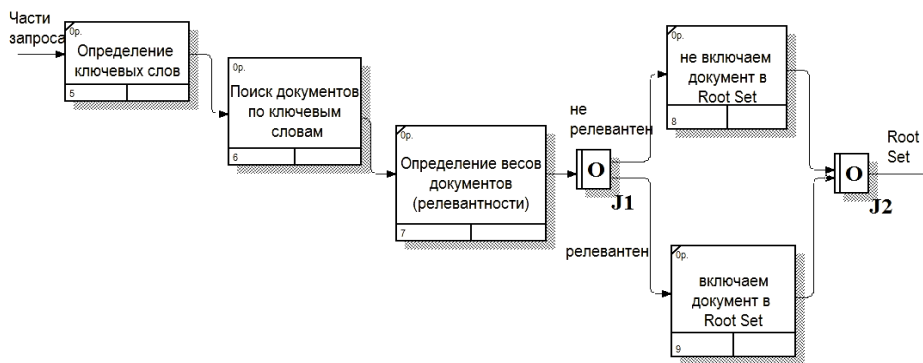


Рис. 3. Формирование Root Set

На третьем этапе к множеству Base Set применяется метод, приведенный выше, т. е. происходит построение графа поиска и вычисление весов документов. В качестве модификации предлагаемого метода выступает индекс сети a_V . Зачастую в Сети встречаются страницы, имеющие высокие авторитетные и хаб-веса, но содержащие мало информации по искомой тематике. Это могут быть рекламные страницы либо страницы с искусственно завышенным рейтингом. Модифицированный метод помогает избежать попадания таких страниц в список найденных документов.

Ранжирование множества документов Base Set с помощью предложенного метода показано на рис. 4. Вычисление весов документов (процессы 16 и 17), согласно их принадлежности сети, происходит по следующим формулам:

$$a_V = 2, \quad A(V) = 2 \sum_{i=1}^n H(U_i), \quad H(U) = 2 \sum_{j=1}^m A(V_j);$$

$$a_V = 1, \quad A(V) = \sum_{i=1}^n H(U_i), \quad H(U) = \sum_{j=1}^m A(V_j).$$

Таким образом, веса документов корпоративной сети будут иметь приоритетный коэффициент релевантности относительно документов из Сети. Это позволит пользователю находить более информативные документы, которые из-за невысокого рейтинга игнорируются другими поисковыми системами.

Модифицированный метод предназначен для обработки информации в корпоративных информационно-управляющих системах. На данный момент он используется в разработке демонстрационного прототипа корпоративной информационно-управляющей системы. Первые экспериментальные результаты работы модифицированного метода ожидаются в сентябре 2011 г. По теоретическим данным, метод снижает загрузженность корпоративного интернет-трафика при поиске и обработке информации. Снижение внешнего интернет-трафика достигается благодаря формированию статистики наиболее часто используемых документов и пополнению корпоративной базы данных согласно запросам пользователя. Кроме того, данный метод позволяет повысить ранг внутренних корпоративных документов по сравнению с внешними, а тем самым – достоверность и, как следствие, качество результирующей информационной выборки.

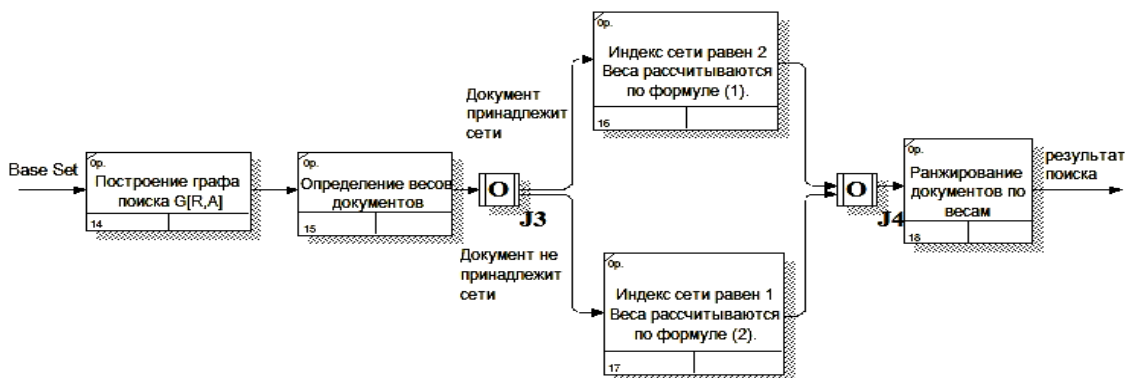


Рис. 4. Ранжирование

Библиографические ссылки

1. Information search module based on multilinguistic thesauruses / P. V. Zelenkov, M. V. Karaseva, E. P. Bachurina, V. V. Brezitskaya // Вестник СибГАУ. Вып. 1(27). 2010. С. 89–91.

2. Модуль обработки информационных запросов пользователей в сеть Интернет для корпоративных

информационно-управляющих систем / П. В. Зеленков, М. А. Селиванова, В. В. Брезицкая, А. П. Хохлов // Вестник СибГАУ. Вып. 3(24). 2009. С. 69–74.

3. System for processing highly specialized information in distributed networks / P. V. Zelenkov, V. V. Brezitskaya, E. P. Bachurina et al. // Вестник СибГАУ. Вып. 5(26). 2009. С. 40–42.

P. V. Zelenkov, G. A. Sidorova

MODIFICATED HITS ALGORITHM

In this paper the problem of modern search systems connected with documents ranking is shown. To solve this problem it is proposed to use the modified algorithm HITS in the process of searching and processing information. This approach helps to solve the problems of search, relevance determination of the information and also to rank system response.

Keywords: HITS, ranking, information processing, information search.

© Зеленков П. В., Сидорова Г. А., 2011

УДК 519.688

А. В. Ищенко, И. В. Киреев

ФРАКТАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ВЛОЖЕННЫХ СЕТОК*

Предложен алгоритм построения последовательности вложенных сеток для двумерных многосвязных областей, сочетающий в себе достоинства алгоритма шаблонов и метода бисекции.

Ключевые слова: триангуляция, фрактал, многосеточные методы.

Построению двумерных сеток посвящено множество публикаций, обзор которых можно найти в [1–3]. Тем не менее, появление любого нового алгоритма вызывает большой интерес, поскольку триангуляция является одним из основных этапов численного моделирования в механике сплошных сред. В данной статье предложен алгоритм разбиения двумерных многосвязных областей на треугольники, идея которого подсказана алгоритмом построения салфетки Серпинского, представляющей собой один из классических примеров фрактальной геометрии [4].

В основе рассматриваемого алгоритма триангуляции, результатом работы которого будет последовательность неравномерных вложенных друг в друга сеток, лежит единственность представления прямоугольного равнобедренного треугольника в виде объединения двух прямоугольных равнобедренных треугольников, полученных из исходного бисекцией (рис. 1).

Как и в методе граничной коррекции [2], исходную многосвязную двумерную область Ω помещаем в прямоугольник R , на котором определена характеристическая функция $\chi(M)$ области $\Omega \subseteq R$:

$$\chi(M) = 1 \Leftrightarrow M \in \Omega \text{ и } \chi(M) = 0 \Leftrightarrow M \notin \Omega. \quad (1)$$

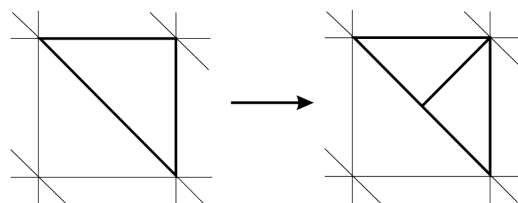


Рис. 1. Шаблон для прямоугольного треугольника

Аналогично методу шаблонов [3], в котором в качестве базового элемента взят равнобедренный прямоугольный треугольник и шаблоном для которого является указанное выше представление в виде объединения двух равных треугольников, триангулируем объемлющий прямоугольник R , после чего при помощи граничной коррекции [3] получим сетку для области Ω .

Для описания алгоритма триангуляции объемлющего прямоугольника R , который изначально разбит на небольшое количество равнобедренных прямоугольных треугольников, удобно ввести понятие уровня вложенности треугольника [5]. Треугольникам начального разбиения прямоугольника R приписываем нулевой уровень вложенности.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ «Вычислительные технологии для расчета течений несжимаемой жидкости» (проект № 08-01-00621-а).

Треугольники, полученные бисекцией из треугольников нулевого уровня, имеют первый уровень вложенности и т. д. Если определить линейную меру треугольника триангуляции как длину его гипотенузы, то при бисекции линейная мера уменьшается в $\sqrt{2}$ раз, а уровень вложенности увеличивается на 1.

Триангуляция области Ω состоит из трех структур: узлов, сторон и треугольников. Каждый узел треугольной сетки характеризуется двумя декартовыми координатами, своим порядковым номером и обязан быть только вершиной одного или нескольких треугольников, число которых в рассматриваемом алгоритме – не более восьми. Любой треугольник имеет свой номер и полностью определяется тремя вершинами, одна из которых, соответствующая вершине прямого угла, выделяется особо. Всякое ребро сетки задается ограничивающими его узлами. Ребра, соответствующие гипотенузам, выделяются особо, поскольку бисекция в предлагаемом алгоритме делит пополам именно гипотенузу. Все треугольники до проведения граничной коррекции являются прямоугольными и равнобедренными.

Зависимость линейной меры треугольника от его положения удобно задавать функцией шагов $h(M)$ [6]. Для любой точки $M \in R$ значение $h(M)$ всегда больше нуля и уменьшение линейного размера треугольников сетки будем продолжать до тех пор, пока для каждого треугольника Δ_k сетки не будет выполнено отношение

$$l_k \leq \max_{M \in \Delta_k} h(M), \quad k = 1, 2, \dots, N_{\Delta}, \quad (2)$$

где l_k – линейная мера треугольника Δ_k , N_{Δ} – число всех треугольников сетки объемлющего прямоугольника R .

На практике вместо этого условия обычно выполняется проверка неравенства $l_k \leq h(M)$ лишь в нескольких точках M треугольника Δ_k , и если хотя бы в одной из них последнее неравенство выполнено, то Δ_k больше не разбивается, если только его бисекция не вызвана делением смежного с Δ_k треугольника с большим, чем у Δ_k , уровнем вложенности.

Проиллюстрируем на конкретном примере процесс дробления сетки прямоугольника R (рис. 2). Пусть в объемлющем прямоугольнике задана триангуляция (рис. 2, а) и для одного из ее треугольников условие (1) не выполнено.

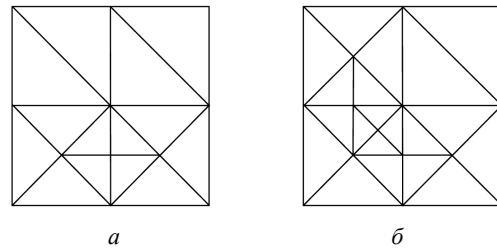


Рис. 2. Трансформация сетки при бисекции одного из треугольников: исходное (а) и конечное (б) состояния триангуляции

Рассмотрим преобразования, порожденные бисекцией такого треугольника (рис. 3). Сначала в разбиваемом треугольнике проведем высоту и получим точку на гипотенузе, которую пока еще нельзя интерпретировать как узел триангуляции, поскольку такой узел должен находиться только в вершинах треугольника.

Если эта гипотенуза является гипотенузой и смежного треугольника, то делаем бисекцию последнего треугольника и из списка треугольников сетки удаляем два модифицированных треугольника и вносим в него четыре новых. В этом случае множество всех узлов пополняется только что построенной точкой – серединой гипотенузы – и таким образом старая сетка вкладывается в новую, т. е. узлы исходной триангуляции являются узлами модифицированной. На этом очередной этап дробления сетки заканчивается.

Если же построенная середина гипотенузы является точкой катета смежного треугольника, а не его гипотенузы (что возможно только в том случае, когда смежный треугольник имеет меньший уровень вложенности), то этот смежный прямоугольный треугольник разбиваем сначала высотой на два, а затем описанную выше процедуру повторяем со вновь полученным треугольником того же уровня вложенности, что и исходный. Но теперь возникает точка – середина гипотенузы смежного треугольника, и процесс повторяется с момента распознавания точки катета/гипотенузы. Эти преобразования трансформируют сетку, показанную на рис. 2, а, в триангуляцию, изображенную на рис. 2, б.

Представленный выше процесс является рекурсивным и конечным, поскольку в нем мы либо выходим на границу прямоугольника R , либо сталкиваемся с гипотенузой двух смежных треугольников одного и того же уровня вложенности (рис. 4).

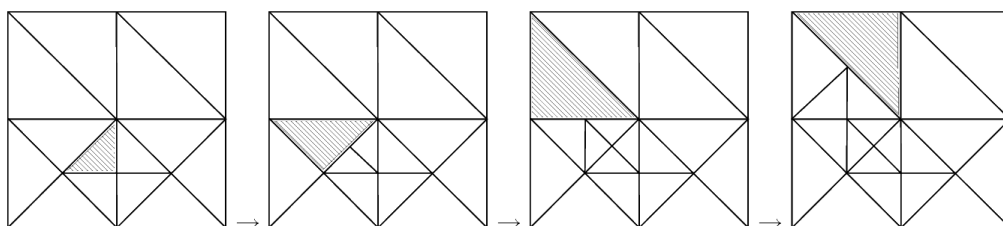


Рис. 3. Процесс дробления сетки объемлющего прямоугольника R (треугольники, подлежащие разбиению на следующем шаге, выделены штриховкой)

Иными словами, возникающие треугольники наибольшего уровня вложенности будут сгруппированы по четыре, образуя квадрат одного из двух типов, изображенных на рис. 4.

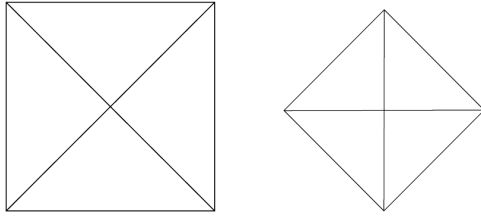


Рис. 4. Структуры, образуемые треугольниками наибольшего уровня вложенности

Зная максимальное h_{\max} и минимальное h_{\min} значения функции $h(M)$ на всей области Ω , можно оценить и максимальную разность уровней вложенности треугольников сетки, которая по порядку совпадает с числом $2 \log_2(h_{\max} / h_{\min})$.

Структурированность построенной триангуляции позволяет по заданной функции шагов $h(M)$ получить априорную верхнюю оценку числа возникающих в процессе разбиения треугольников, которую можно использовать для прогнозирования вычислительных затрат. Если стратегия триангуляции объемлющего прямоугольника R такова, что для каждого треугольника Δ_k в (2) выполнено равенство

$$l_k = \max_{M \in \Delta_k} h(M),$$

то число возникающих треугольников N_Δ удовлетворяет соотношению

$$N_\Delta \leq \iint_R \frac{4 dx dy}{h^2(x, y)}.$$

Это неравенство является тривиальным следствием теоремы о среднем значении интеграла.

Опишем теперь простейший алгоритм граничной коррекции (рис. 5). Пусть область Ω с границей $\partial\Omega$ содержится в объемлющем прямоугольнике R и описывается характеристической функцией $\chi(M)$ (1), определенной на R . После построения по заданной функции шагов $h(M)$ триангуляции R все треугольники по отношению к Ω разбиваются на три типа: внутренние, внешние и граничные.

Предполагается, что функция $h(M)$ такова, что линейный размер полученных в результате триангуляции граничных треугольников достаточно мал, так что любое из ребер граничного треугольника имеет не более одной точки пересечения с $\partial\Omega$. Вершины M_k граничных треугольников будем называть *приграничными*, и в каждом из них при помощи характеристической функции определим все стороны, пересекающие

криволинейную границу $\partial\Omega$ области Ω (рис. 5, а). Для каждого такого ребра $M_{k_0} M_{k_j}$ ($j = 1, \dots, m_k \leq 8$) необходимо вычислить координаты точки пересечения $N_{k_0 k_j}$ с $\partial\Omega$, например методом деления отрезка пополам.

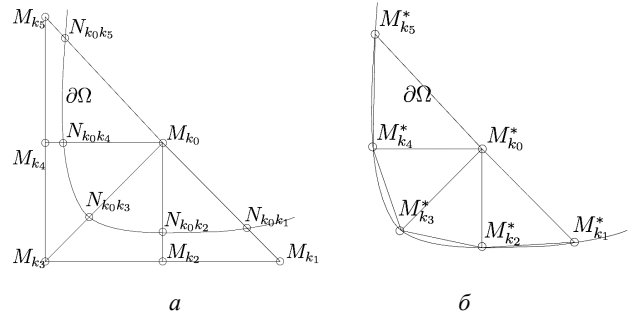


Рис. 5. Процесс граничной коррекции: а – приграничные ребра и вершины; б – результат граничной коррекции

Для каждого приграничного узла M_{k_i} определим расстояние от него до $\partial\Omega$ как минимальное из длин отрезков $M_{k_i} N_{k_i k_j}$. В результате возникает упорядочение приграничных узлов. Затем, начиная с наименее удаленного от границы приграничного узла, последовательно переместим приграничные узлы M_{k_i} в ближайшую точку $M_{k_i}^*$ из множества точек пересечения $\{N_{k_i k_1}, \dots, N_{k_i m_k}\}$ ребер с границей $\partial\Omega$ (см. рис. 5, б).

Графическое представление работы простейшего алгоритма граничной коррекции (рис. 6) показывает, что качество полученной сетки весьма низкое, так как в некоторых случаях схлопывающийся треугольник приходится переразбивать более двух раз. Из-за этого в отдельных областях вблизи границы области сетка значительно измельчается, так как необходимость разбиения одного элемента триангуляции может привести к разбиению целой цепочки треугольников, как на рис. 6, б. В действительности это означает, что от описанного выше упорядочения приграничных узлов приходится отказаться.

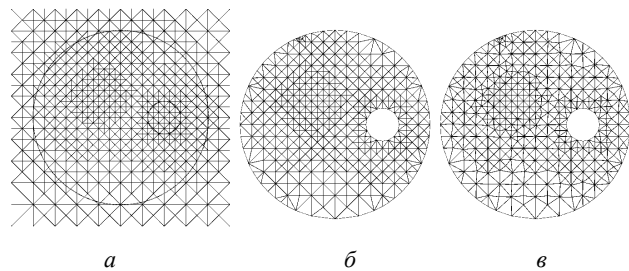


Рис. 6. Простейший алгоритм граничной коррекции: а – сетка перед граничной коррекцией; б – результат граничной коррекции; в – результат оптимизации

С целью улучшения качества сетки была предложена модифицированная процедура граничной коррекции (рис. 7).

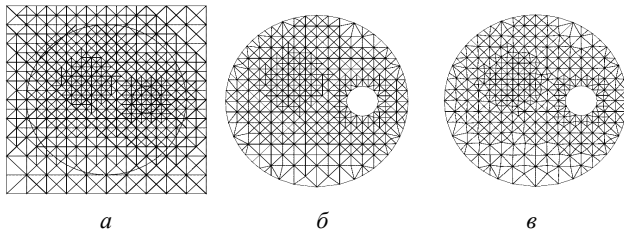


Рис. 7. Процедура модифицированной граничной коррекции:
 а – сетка перед граничной коррекцией; б – результат модифицированной граничной коррекции; в – результат оптимизации

В качестве критерия бисекции граничного треугольника примем следующий. При построении каждой из точек $N_{k_0k_j}$ (см. рис. 5, а) вычисляется величина $\eta(N_{k_0k_j})$, равная отношению длины ребра от точки пересечения $N_{k_0k_j}$ до ближайшей из вершин M_{k_0} или M_{k_j} треугольника к длине всего ребра $M_{k_0}M_{k_j}$. Тогда при выполнении неравенства

$$\eta(N_{k_0k_j}) \geq \eta_0 \quad (3)$$

треугольник, которому принадлежит это ребро, разбивается на два равных треугольника.

Если это ребро является гипотенузой, то при бисекции оно будет разбито на две части, одна из которых не будет пересекаться с границей, а вторая автоматически не будет удовлетворять условию проведения бисекции (3).

Если же этим ребром является катет, то бисекция данного треугольника будет проводиться дважды.

В случае, изображенном на рис. 7, значение $\eta_0 = 0,4255$ приводит к сетке достаточно хорошего качества (рис. 7, б). Такое значение η_0 , полученное экспериментальным путем, обеспечивает лучшее качество триангуляции области по сравнению с простейшим алгоритмом граничной коррекции (см. рис. 6, б) и позволяет избежать эффекта схлопывания.

Одним из отрицательных последствий граничной коррекции является искажение некоторых треугольников сетки, подчас весьма значительное. Поэтому целесообразно оптимизировать узлы сетки, например перемещая каждый внутренний относительно области Ω узел в центр тяжести соответствующего ему m_k -угольника, образованного всеми треугольниками сетки, содержащими эту вершину. Иными словами, для каждого внутреннего узла сетки $M_k(x_k, y_k) \in \Omega$ его новое положение $M_k^{(n)}(x_k^{(n)}, y_k^{(n)})$ вычисляется следующим образом:

$$x_k^{(n)} = \frac{1}{m_k} \sum_{j=1}^{m_k} x_{k_j}^{(n-1)}, \quad y_k^{(n)} = \frac{1}{m_k} \sum_{j=1}^{m_k} y_{k_j}^{(n-1)}, \quad (4)$$

$$x_k^{(0)} = x_k, y_k^{(0)} = y_k,$$

где m_k – количество узлов $M_{k_j}(x_{k_j}, y_{k_j})$ сетки, связанных с узлом $M_k(x_k, y_k)$ каким-либо ребром; n – номер итерации. В нашем случае $4 \leq m_k \leq 8$.

Заметим, что все элементы матрицы перехода итерационного процесса (4) неотрицательны, а поскольку область Ω является связной, то матрица перехода будет неразложимой. Кроме того, в процессе (4) изменяются координаты только внутренних узлов сетки и, следовательно, сумма элементов строки матрицы перехода, содержащей ссылки на граничные узлы, будет меньше 1. Из спектральных свойств неразложимой матрицы с неотрицательными элементами [7] следует, что итерационный процесс оптимизации внутренних узлов сетки сходится, поскольку отображения $\{x_k^{(n-1)}\} \rightarrow \{x_k^{(n)}\}$ и $\{y_{k-1}^{(n-1)}\} \rightarrow \{y_k^{(n)}\}$ из (4) являются сжимающими. Результаты процесса оптимизации сеток, представленные на рис. 6, а и 7, а, показывают быструю сходимость процесса (3) (рис. 6, в и 7, в).

Рассмотренные выше алгоритмы триангуляции области Ω приводят к естественному упорядочиванию узлов сетки, что в свою очередь позволяет построить процесс, обратный процессу построения сетки, т. е. последовательного уменьшения максимального уровня вложенности сетки вплоть до нулевого. В основе этого процесса лежит структурированность построенной триангуляции, при которой треугольники наибольшего уровня вложенности группируются по четыре, образуя квадраты, изображенные на рис. 4.

Эта процедура осуществляется посредством укрупнения треугольников самого высокого на данном этапе уровня вложенности: в каждом квадрате, образуемым четверкой треугольников самого высокого уровня вложенности, выбрасывается та его диагональ, которая была построена последней (рис. 8). Если перед началом процесса объединения все треугольники были прямоугольными, то линейные размеры треугольников на каждом этапе увеличиваются в $\sqrt{2}$ раз.

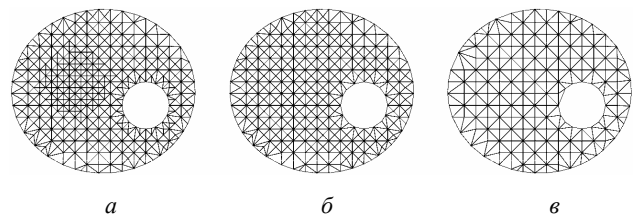


Рис. 8. Процесс объединения:
 а – наивысший уровень вложенности треугольников;
 б – сетка после одного шага алгоритма; в – сетка после двух шагов алгоритма

Процесс объединения, т. е. переход на сетки с меньшими уровнями вложенности треугольников

вплоть до нулевого, может играть существенную роль в уменьшении временных затрат на решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) методом конечных элементов, построенных на базе предложенной триангуляции. Так, например, в решении СЛАУ методом Гаусса в качестве ведущих элементов глобальной матрицы жесткости можно брать ее диагональные элементы в порядке, обратном порядку появления узлов сетки в процессе ее построения. По точности это решение будет незначительно отличаться от решения систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса с выбором максимального по столбцу, однако полученная в ходе процесса исключения матрица является более разреженной, чем аналогичная матрица из метода Гаусса. Кроме этого, вложенность сеток позволяет реализовать для решения СЛАУ метод Холецкого [7] без предварительного формирования глобальной матрицы, проводя исключения искоемых узловых значений из локальных матриц жесткости.

Предложенный алгоритм триангуляции легко программируется, поскольку процессы изменения размера сетки носят рекурсивный характер, а триангуляция прямоугольника R порождена треугольниками, подобными друг другу. Поэтому употребление прилагательного «фрактальный» в названии данной статьи является вполне естественным (напомним, что слово «фрактал» не является математическим термином и не имеет общепринятого строгого математического определения, но употребляется, в частности, тогда, когда рассматриваемая фигура является самоподобной или может быть построена при помощи рекурсивной

процедуры [4]). Этот алгоритм также открывает новые возможности для применения многосеточных технологий [8] при моделировании сплошных сред методом конечных элементов.

Библиографические ссылки

1. Frey P. J., Geotge P. L. Mesh generation. application to finite elements. Oxford ; Paris : Hermes Sci. Publ., 2000.
2. Галанин М. П., Щеглов И. А. Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей: итерационные методы : препр. № 9 / Ин-т прикл. математики им. М. В. Келдыша Рос. акад. наук. М., 2006.
3. Галанин М. П., Щеглов И. А. Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей: прямые методы : препр. № 10 / Ин-т прикл. математики им. М. В. Келдыша Рос. акад. наук. М., 2006.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Ин-т компьютер. исслед. М., 2002.
5. Киреев И. В., Пятаев С. Ф. Пиксельная технология дискретизации акватории мирового океана // Вычисл. технологии. 2009. Т. 14, № 5. С. 30–39.
6. Пятаев С. Ф., Немировский Ю. В. Автоматизированная триангуляция многосвязных областей со сгущением и разрежением узлов // Вычисл. технологии. 2000. Т. 5, № 2. С. 82–91.
7. Воеводин В. В., Кузнецов Ю. А. Матрицы и вычисления. М. : Наука, 1984.
8. Шайдуров В. В. Многосеточные методы конечных элементов. М. : Наука, 1989.

A. V. Ischenko, I. V. Kireev

FRactal algorithm for generation of two-dimensional nested grids

In the work the others offer fractal algorithm for construction of a sequence of nested grids for two-dimensional multiply-connected domains.

Keywords: triangulation, fractal, multigrid methods.

© Ищенко А. В., Киреев И. В., 2011

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ*

Представлено описание аппаратно-программного комплекса, предназначенного для исследования кинематики и динамики плоских рычажных механизмов и позволяющего синтезировать механизмы из групп Ассура. Исследуемые кинематические параметры снимаются датчиками угловых и линейных перемещений с последующей передачей и обработкой на ЭВМ. Комплекс позволяет исследовать влияние кинематической структуры механизма и конструкции шарнирных сочленений на кинематические и динамические параметры синтезированных механизмов; испытывать различные типы шарниров и проводить сравнительные испытания применяемых в шарнирах антифрикционных материалов и смазок; проводить испытания механизмов произвольной структуры для оптимизации соотношений кинематических и триботехнических параметров по критерию максимума КПД механизма.

Ключевые слова: проектирование, программирование, плоский рычажный механизм, структурный кинематический синтез, динамический анализ, угол давления, коэффициент трения, параметры смазки.

В настоящее время полностью изучены и являются общедоступными теоретические сведения о разработке общих методов исследования структуры, геометрии, кинематики и динамики типовых механизмов и их систем. Типовые механизмы, для которых разработаны типовые методы и алгоритмы синтеза и анализа, имеют широкое применение в машинах различного функционального назначения, включая космические и летательные аппараты. Однако до настоящего времени теория механизмов и машин не дает четких аналитических решений, учитывающих трение в шарнирах и направляющих, ввиду наличия многообразия факторов, оказывающих влияние на величину коэффициентов трения антифрикционных материалов [1].

Поэтому существует необходимость в исследованиях влияния трения при действии динамических нагрузок в узлах трения шарниров, проведении сравнительных испытаний узлов трения из разных материалов, проведении испытаний механизмов произвольной структуры для выявления параметров звеньев, при которых суммарные потери энергии на цикл перемещения механизма минимальны.

Проведенный информационный обзор по проблеме исследования плоских рычажных механизмов с использованием аппаратно-программных комплексов выявил существование методик, позволяющих рассчитывать идеальные модели плоских рычажных механизмов, но эти модели не учитывают трения в шарнирах. Потери на трение зависят от материала вкладышей, шарниров и смазки. Существующие аппаратные средства не позволяют проводить экспериментальные исследования зависимости КПД плоских рычажных механизмов от их структуры и трения в шарнирах. Для повышения эффективности экспериментальных исследований необходимо иметь различные варианты механизмов, состоящих из произвольного количества кинематических пар. Обеспечение многовариантности исследуемых механизмов позволит бо-

лее точно определить зависимости между структурой механизма, трением в шарнирах и его КПД.

Целью работы является экспериментально-теоретическое исследование КПД плоских рычажных механизмов, коэффициентов трения, сил трения и углов давления, влияющих на точность и плавность движения выходного звена, и составление рекомендаций по оптимизации параметров синтезируемых механизмов.

Данное исследование осуществляется поэтапно (рис. 1).

Эксперимент является активным, все факторы (смазка, подшипники, структура механизма, режим нагружения, температура в узле трения) управляемые.

Приведем методику расчета КПД плоского рычажного механизма в зависимости от угла давления, на примере плоского рычажного кривошипно-шатунного механизма (рис. 2).

В плоском рычажном механизме работа движущих сил затрачивается как на производство полезной работы, так и на преодоление трения в кинематических парах [2].

Момент трения в кинематической паре 1–4 определяется формулой

$$M_1 = \mu_1 \cdot F_{1-4} \cdot \frac{d_1}{2},$$

где μ_1 , F_{1-4} , d_1 – соответственно приведенный коэффициент трения, сила давления и диаметр цапфы в кинематической паре 1–4.

Аналогично для кинематических пар 1–2 и 2–3:

$$M_{1-2} = \mu_2 \cdot F_{1-2} \cdot \frac{d_2}{2}, \quad M_{2-3} = \mu_3 \cdot F_{2-3} \cdot \frac{d_3}{2}.$$

Сила трения при поступательном движении будет выражена формулой

$$F_{\text{тр}} = \mu_4 \cdot N.$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта президента Российской Федерации (МК-663.2010.8).



Рис. 1. Блок-схема последовательности проведения исследования

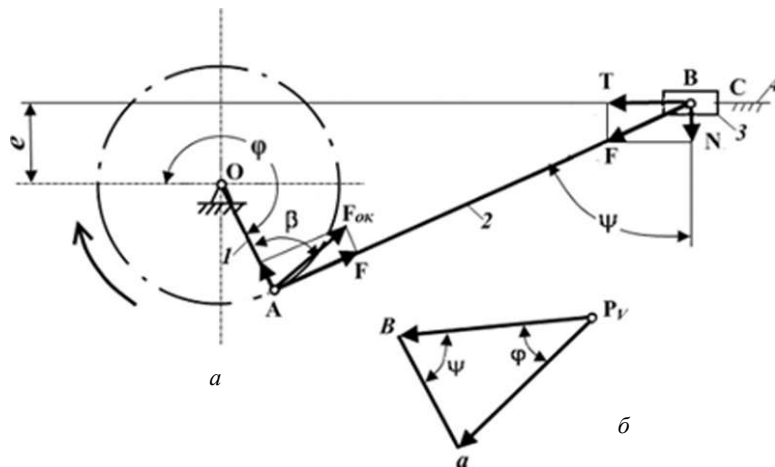


Рис. 2. Кривошипно-шатунный механизм:
а – кинематическая схема; б – план скоростей

Без значительной погрешности можно принять (при больших углах давления)

$$F_{1-2} \approx F_{2-3} \approx F,$$

где $F = \frac{T}{\cos(90^\circ - \psi)} = \frac{T}{\sin \psi}$, и так как $N = \frac{T}{\operatorname{tg} \varphi}$ (рис. 2, а), то

$$M_{1-4} = \mu_1 \cdot \frac{T}{\sin \psi} \cdot \frac{d_1}{2},$$

$$M_{1-2} = \mu_2 \cdot \frac{T}{\sin \psi} \cdot \frac{d_2}{2},$$

$$M_{2-3} = \mu_3 \cdot \frac{T}{\sin \psi} \cdot \frac{d_3}{2}, \quad F_{\text{тр}} = \mu_4 \cdot \frac{T}{2\psi}.$$

В выражениях моментов и силы трения $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ коэффициенты трения и диаметры шарниров d_1, d_2, d_3 в кинематических парах 1–4, 1–2, 2–3, 3–4 соответственно. Мгновенная мощность сил трения в механизме будет:

$$P = M_{1-4} \cdot \omega_1 + M_{1-2} \cdot (\omega_1 + \omega_2) + M_{2-3} \cdot \omega_2 + F_p \cdot V,$$

где ω_1, ω_2 и V – абсолютные угловые частоты кривошипа, шатуна и скорость ползуна соответственно.

Внося в полученное выражение для мгновенной мощности найденные ранее значения M_{1-4} , M_{1-2} , M_{2-3} и $F_{тр}$, получим

$$P = \left(\frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_1 \cdot d_1}{2} \omega_1 + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2} \omega_2 + \mu_3 \cdot V \cdot \cos \psi \right) \cdot \frac{T}{\sin \psi}.$$

Построив план скоростей (рис. 2, б), нетрудно найти зависимость ω_2 и V от ω_1 . Из плана скоростей получим

$$\frac{V}{\sin(\psi + \varphi)} = \frac{\omega_1 \cdot l_1}{\sin \psi},$$

откуда

$$\begin{aligned} V &= \omega_1 \cdot l_1 \cdot \sin(\psi + \varphi) \cdot \frac{1}{\sin \psi} = \\ &= \omega_1 \cdot l_1 \cdot \frac{\sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \sin \varphi}{\sin \psi} = \\ &= \omega_1 \cdot l_1 \cdot (\cos \varphi + \operatorname{ctg} \psi \sin \varphi). \end{aligned}$$

Угловая скорость шатуна по отношению к стойке 4 находится по формуле

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{l_1 \sin \varphi}{l_2 \sin \psi}.$$

После преобразований мгновенную мощность сил трения можно определить по формуле

$$\begin{aligned} P &= \left(\frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_1 \cdot d_1}{2l_1} + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2l_2} \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} + \right. \\ &\left. + \mu_3 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \psi + \mu_3 \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} \right) \cdot F \cdot \omega_1 \cdot l_1. \end{aligned}$$

Следовательно, коэффициент потерь определяется по формуле

$$\begin{aligned} a &= \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_1 \cdot d_1}{2l_1 \sin \beta} + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2l_2 \sin \beta} \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} + \\ &+ \mu_3 \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin \beta} \cdot \cos \psi + \mu_4 \frac{\sin \varphi}{\sin \psi \sin \beta}. \end{aligned}$$

Из полученного выражения видно, что для уменьшения коэффициента потерь необходимо стремиться к получению больших значений для углов давления.

Для проверки теории, а также для составления рекомендаций по синтезу плоских рычажных механизмов необходимо создание стенда, который позволял

бы исследовать кинематику и динамику работы плоских рычажных механизмов.

Технической задачей является исследование влияния трения под действием динамической нагрузки на узлы шарниров, сравнительные испытания втулок из разных материалов, испытания механизмов одной структуры, но с различными длинами звеньев, для выявления длин звеньев, при которых КПД механизма будет наибольшим.

Предлагается аппаратно-программный комплекс, позволяющий синтезировать механизмы любой сложности из элементарных компонентов, таких как стойки, кривошип и ползуны [3].

Для изучения сил трения и их влияния на сопротивление в шарнирах механизма предусмотрено подключение электродвигателя. Снятие характеристик угловых и линейных перемещений звеньев механизма обеспечивается подключением к соответствующим условиям эксперимента точкам звеньев датчиков измерения угловых и линейных перемещений.

Основные элементы аппаратно-программного комплекса (рис. 3): аппаратная часть – стенд для исследования плоских рычажных механизмов, система измерений и программная часть, выполненная в виде программного обеспечения для персональных ЭВМ типа PC/AT.

Аппаратная часть комплекса (рис. 4) включает стол 1, с закрепленным на нем двигателем 2, вращающий момент с которого через ведущий кривошип 3 передается на шатун 5 и кулису 9.

Шарнирное соединение звеньев реализовано посредством сменных втулок 4, которые являются объектом изучения. Износ втулки влияет на кинематическую точность и плавность движения механизма. На каждом звене для задания своей длины предусмотрен ползун 6, выполняющий две функции: в фиксированном положении он определяет расстояние до крепления следующего звена механизма с точностью до 0,1 мм, в свободном положении выполняет функцию элемента линейного перемещения. Фиксация данных происходит абсолютными цифровыми датчиками углового 7 и линейного перемещения 10, 11. Датчики линейного перемещения устанавливаются на ползуны и регистрируют перемещение ползуна с точностью 0,01 мм. Датчики углового перемещения устанавливаются на стационарные оси 8 и регистрируют угловые перемещения звеньев механизма на осях с точностью 200 делений на оборот. Передача информации с абсолютных цифровых датчиков угловых и линейных перемещений на ЭВМ осуществляется через интерфейс RS-485.



Рис. 3. Основные элементы аппаратно-программного комплекса для исследования плоских рычажных механизмов

Данные о положении механизма поступают на ЭВМ через СОМ-порт, описание подсоединения датчиков и диаграмма работы которого приведены в работе [2]. Алгоритм функционирования программного обеспечения приведен на рис. 5.

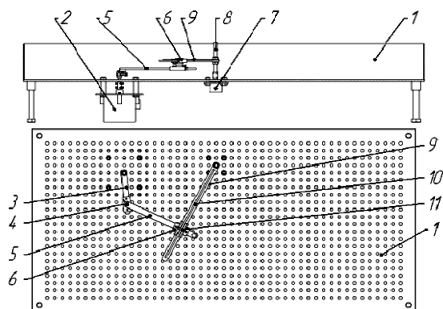


Рис. 4. Аппаратно-программный комплекс с синтезированным плоско-рычажным механизмом

Программное обеспечение позволяет регистрировать и обрабатывать сигналы, полученные со стенда, структурировать полученные данные, выводить в отдельный файл, отображать графики изменения показаний датчиков.

Основное окно приложения состоит из следующих элементов управления (рис. 6): 1 – «Начать запись сигнала»; 2 – «Остановить запись сигнала»; 3 – «Показать графики сохраненных сигналов»; 4 – «Показать графики в реальном времени»; 5 – «Добавить модификацию существующего сигнала»; 6 – «Наименование выделенного сигнала»; 7 – отображает, какие модификации и от какого сигнала были произведены; 8 – дерево сигналов; 9 – таблица данных выделенного сигнала; 10 – график выделенного сигнала, отображает эмулятор синусоидальной функции сигнала датчика углового перемещения приводного кривошипа.

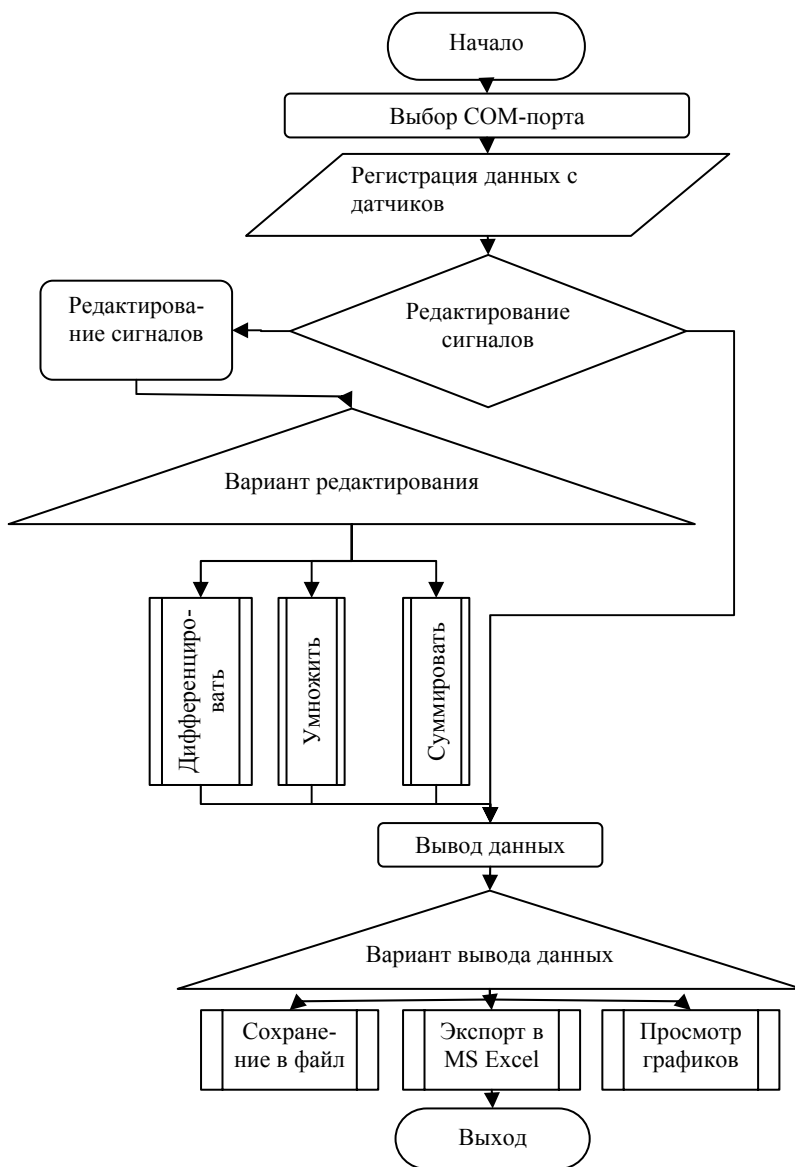


Рис. 5. Алгоритм программного обеспечения для регистрации и обработки сигналов с датчиков

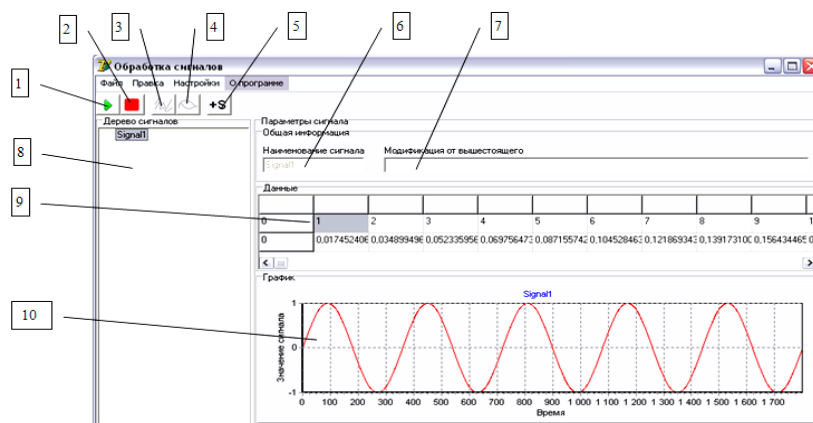


Рис. 6. Окно пользовательского интерфейса программы регистрации и обработки сигналов датчиков угловых и линейных перемещений комплекса

Для функционирования программы достаточно запустить приложение и выбрать порт, через который подключены датчики. Нажать кнопку «Начать запись» для начала регистрирования сигналов. Кнопка «Остановить запись» останавливает регистрацию сигналов и сохраняет их в оперативной памяти ЭВМ. Команда меню *Файл* → *Экспорт* позволяет экспортировать данные в MS Excel для удобного редактирования и просмотра. Реализованный модуль обработки сигналов позволяет масштабировать, суммировать либо дифференцировать массив данных сигнала. После обработки исходный сигнал остается без изменений, но создается новый сигнал, порожденный исходным сигналом. Реализована возможность просмотра графиков изменения исследуемых параметров в режиме реального времени, а также аппроксимированных экспериментальных данных функций отклика.

Программное обеспечение имеет внутреннюю диагностику и набор подпрограмм – эмуляторов сигнала с датчиков. На представленные стенд и программное обеспечение поданы соответствующие заявки в Роспатент.

Рассмотренный аппаратно-программный комплекс может служить учебно-научно-исследовательской установкой для ведения лабораторных работ по курсу

«Теория механизмов и машин», а также для проведения экспериментов при выполнении научно-исследовательских работ аспирантов по специальности «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Использование комплекса дает возможность исследовать физические модели конкретных механизмов, при этом не требуется изготовления прототипов конкретных механизмов, достаточно проверить их работоспособность в заданных условиях на аппаратно-программном комплексе, что в итоге позволяет сократить расходы при проектировании и отладке опытных образцов рассмотренных механизмов в производстве.

Библиографические ссылки

1. Фролов К. В. Теория механизмов и машин. М.: Высш. шк., 2005.
2. Штыцко П. И., Иванова А. П., Каряченко Н. В. Влияние угла давления на КПД кривошипно-шатунного механизма стана ХПТ // Системные технологии. № 3(68). 2010. С. 3–7.
3. Казанцев А. А., Ереско С. П. Аппаратно-программный комплекс для исследования плоских рычажных механизмов // Актуал. пробл. авиации и космонавтики: сб. науч. ст.: в 2 т. Т. 1 / ред. Ю. Ю. Логинов; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010. С. 139–140.

A. A. Kazantsev, S. P. Eresko, A. S. Eresko, S. M. Shevtsov

RESEARCH OF PLANAR LEVER MECHANISMS OF SPECIAL SYSTEMS

The article presents description of hardware and software system designed to study the kinematics and dynamics of planar lever mechanisms, and providing for synthesis of Assur groups. The authors investigate the kinematic parameters of the sensors are removed angular and linear movement with the subsequent transfer and processing by computer. The complex allows to investigate the effect of the kinematic structure of the mechanism and design of articulation joint on the kinematic and dynamic parameters of synthesized instruments, moreover, the complex allows to test different types of joints and comparative trials used in the joints of anti-friction materials and lubricants, to test the mechanisms of any structure to optimize the kinematic relations and tribological parameters on the criterion of maximum efficiency of the mechanism.

Keywords: design, programming, plain lever motion mechanism, structural kinematic synthesis, dynamic analysis, pressure angle, the parameters of lubrication.

© Казанцев А. А., Ереско С. П., Ереско А. С., Шевцов С. М., 2011

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ*

Проведено сравнение энергетических характеристик различных видов топлива и использующих топливо электроэнергетических технологий. Показана их низкая эффективность и негативное воздействие на экологию. Использование энергии фундаментального электрического взаимодействия электронов и катионов дает возможность создать высокоэффективный экологически чистый электронный источник электроэнергии. Представлены теоретические основы и технические решения электроэнергетической нанотехнологии для производства электроэнергии, показаны ее преимущества перед известными электроэнергетическими технологиями.

Ключевые слова: фундаментальное электрическое взаимодействие электронов и катионов, закон сохранения энергии электричества, эффективная длина электронного луча, реактор электронной плазмы, электронный генератор электроэнергии, электродинамический движитель.

Производство аэрокосмической техники, перемещение аэрокосмических аппаратов в пространстве и обеспечение их жизнедеятельности требует колоссальных затрат электроэнергии, получают которую главным образом, порядка 80 %, за счет сжигания различных видов топлива [1].

Сжигание 1 кг условного углеводородного топлива дает 29,3 МДж энергии плюс вредные выбросы и отходы, негативно воздействующие на экологию [2].

В результате ядерных и термоядерных реакций получают $10^{14} \dots 10^{15}$ Дж энергии на 1 кг соответствующего топлива и множество проблем в виде радиоактивных отходов и ионизирующих излучений, сопровождающих весь технологический процесс от добычи минерального сырья, обогащения, сжигания топлива до утилизации отходов. Теоретически ($E = mc^2$) ядерные и термоядерные реакции дают $\sim 9 \cdot 10^{16}$ Дж энергии. Отсюда следует, что КПД ядерной энергетики менее 1 % [2].

Топливо-энергетические ресурсы планеты весьма ограничены, поэтому существующая топливосжигающая электроэнергетика, дающая порядка 80 % электроэнергии, ведет человечество в тупик топливно-энергетического экологического кризиса.

Анализ существующих электроэнергетических технологий показывает, что для электроэнергетики необходима принципиально новая технология производства электроэнергии. Единственной данной природой возможностью для создания высокоэффективного экологически чистого источника электроэнергии (а не преобразователя других видов энергии в электроэнергию) является фундаментальное электрическое взаимодействие имеющих элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл электронов и катионов (наноисточников) электрической энергии, образующих вокруг себя радиальное электрическое поле с энергией 511 кеВ [2]. Электростатическая энергия моля ионизированного вещества, в котором из атома удален один электрон на расстояние ионного радиуса $r_i \sim 10^{-10}$ м, составляет порядка 10^{30} Дж [3]:

$$W_e = A^2 e^2 / 4\pi \epsilon r_i, \quad (1)$$

где A – число Авагадро; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды. На ионизацию моля вещества, например с помощью электрической дуги, затрачивается энергия

$$W_d = AeU_d \sim 6 \cdot 10^{26} \text{ eB},$$

где U_d – напряжение между электродами дуги ~ 100 В. Затраты энергии на формирование из плазмы электронного луча и управление лучом, например методом «электронной пушки» [2], составляют

$$W_l = AeU_l \sim 6 \cdot 10^{26} \text{ кеВ} = 10^{11} \text{ Дж},$$

где U_l – напряжение на аноде электронной пушки, ~ 100 кВ. Соотношение энергий:

$$W_e / (W_d + W_l) \sim 10^{19}. \quad (2)$$

Данное соотношение показывает, что на фундаментальном взаимодействии электрически заряженных частиц можно создать высокоэффективный источник электроэнергии [3].

Кардинальным решением проблем, порождаемых существующим электроэнергетическим комплексом, является высокоэффективная, экологически чистая электроэнергетическая нанотехнология (ЭЭНТ), преобразующая электростатическую энергию электрического поля взаимодействующих электронов и катионов (наноисточников электрического поля) в электроэнергию. Техническое решение ЭЭНТ защищено патентом [4]. Осуществляется ЭЭНТ с помощью электронных генераторов электроэнергии (ЭГЭ), преобразующих в электроэнергию энергию взаимодействия положительных ионов с электронами, проходящими по электрической цепи, совершающими работу, пропорциональную произведению суммарного заряда электронов и катионов на их суммарную разность потенциалов. Такая технология позволяет в 5–7 раз снизить себестоимость производства электроэнергии по сравнению с топливосжигающими технологиями, не образует отходов, негативно воздействующих на экологию.

*Работа выполнена при финансовой поддержке фонда «Развитие научного потенциала высшей школы» 3172/09.

Направленное движение в пространственно-временном континууме (ПВК) заряженных частиц создает электромагнитный процесс, мощность и энергия его определяется количеством взаимодействующих частиц, скоростью их движения и параметрами электрической цепи, в которой осуществляется этот процесс. Масса электронов в тысячи раз меньше массы катионов при равных по значению электрических зарядах, поэтому скорости движения электронов во столько же раз больше, чем катионов в электрических полях одинаковой напряженности. В процессе взаимодействия электроны и катионы не разрушаются, а, рекомбинируя друг с другом, образуют атом исходного рабочего вещества, который вновь подвергается ионизации полем электрической дуги. При этом не образуются вредные отходы и выбросы, свойственные топливосжигающей энергетике – углеводородной и ядерной.

Рассмотрим лежащий в основе ЭЭНТ процесс перехода электричества из электростатической формы в электродинамическую. Я. Б. Зельдович советовал: «Хотите узнать, что под ногами – загляните в Космос». В общей теории относительности (ОТО) А. Эйнштейна [5] и релятивистской теории гравитации (РТГ) А. Логунова [6] процесс существования и движения материи в пространственно-временном континууме описывается соответствующим четырехмерным тензором энергии-импульса T_{DB} [5; 6],

$$T_{DB} = \begin{pmatrix} T_{xx} \cdot T_{xy} \cdot T_{xz} \cdot T_{x(ct)} \\ T_{yx} \cdot T_{yy} \cdot T_{yz} \cdot T_{y(ct)} \\ T_{zx} \cdot T_{zy} \cdot T_{zz} \cdot T_{z(ct)} \\ T_{ctx} \cdot T_{cty} \cdot T_{ctz} \cdot T_{ctct} \end{pmatrix},$$

искривляющим соответствующим образом ПВК.

В результате происходит ротация векторного поля материальных объектов в ПВК [6–10], так как

$$\begin{aligned} T_{DB} &= (\text{rot}[\mathbf{D} \times \mathbf{B}] + \mathbf{D} \text{div} \mathbf{B} - \mathbf{B} \text{div} \mathbf{D} + \\ &+ \text{grad}(\mathbf{D} \mathbf{B}) - \mathbf{D} \times \text{rot} \mathbf{B} - \mathbf{B} \times \text{rot} \mathbf{D})/2; \\ T_{BD} &= (-\text{rot}[\mathbf{D} \times \mathbf{B}] - \mathbf{D} \text{div} \mathbf{B} + \mathbf{B} \text{div} \mathbf{D} + \\ &+ \text{grad}(\mathbf{D} \mathbf{B}) - \mathbf{D} \times \text{rot} \mathbf{B} - \mathbf{B} \times \text{rot} \mathbf{D})/2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $T_{DB} = \mathbf{D} \times \mathbf{B}$ и $T_{BD} = \mathbf{B} \times \mathbf{D}$ – прямой и обратный четырехмерный тензор энергии импульса; $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ – четырехмерный вектор электрической индукции; $\epsilon = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r$ – диэлектрическая проницаемость среды, вакуума (ϵ_0) и относительная (ϵ_r); \mathbf{E} – четырехмерный вектор напряженности электрического поля; $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$ – четырехмерный вектор магнитной индукции; $\mu = 4\pi\mu_0\mu_r$ – магнитная проницаемость среды, вакуума (μ_0) и относительная (μ_r); \mathbf{H} – четырехмерный вектор напряженности магнитного поля; $c^{-1}[\mathbf{D} \times \mathbf{B}] = m$ – плотность четырехмерного электромагнитного импульса, создающего плотность массы m ; c – электродинамическая константа. Следовательно, взаимодействие материальных объектов (тензоров энергии-импульса) представляет собой двойную ротацию векторов электромагнитного поля в ПВК.

В процессе двойной ротации векторов электромагнитного процесса образуется масса материального объекта (частицы) и создается его электрический заряд [6–9; 11]. Заряженные частицы, объединяясь определенным образом, образуют различные вещества, в которых могут идти реакции на молекулярном и ядерном уровнях. Эти реакции порождают кванты различных излучений [2; 11]. Электромагнитный квант, распространяясь в пространстве, попадает в такую его область, где плотность энергии электрического поля и гравитации превышает плотность энергии электромагнитного кванта. Например, для искривления кванта с энергией протона необходима плотность энергии порядка 10^{44} Дж/м³. (Такая плотность энергии может быть в области центра масс галактики – «сфере Шварцшильда» для данного кванта и квантов меньших энергий [2; 8; 11].) Под действием поля с такой плотностью энергии искривляется ПВК кванта – происходит ротация вектора потока мощности (вектора Умова–Пойнтинга) электромагнитного кванта. Состоящий из двух полувольт – левосторонней и правосторонней ротации – квант [7–10] делится в ПВК на две части. Полуволна с левосторонней ротацией образует частицу с отрицательным элементарным зарядом. Полуволна с правосторонним вращением образует частицу с положительным элементарным зарядом. Следовательно, под действием электрических сил и гравитации, искривляющих ПВК, электромагнитные кванты, совершая ротацию в искривленном ПВК, превращаются в плазму, состоящую из частиц с противоположными электрическими зарядами [6–9]. Эти материальные объекты, взаимодействуя, образуют в свою очередь кванты новых излучений и соответствующие частицы. Идет непрерывный процесс существования и развития материи в ПВК нашей Вселенной.

Заряды, массы, размеры образующихся частиц однозначно определяются параметрами электромагнитных квантов, искривляемых электрическими силами и гравитацией. Рассмотрим процесс превращения кванта в отрицательно заряженную и положительно заряженную частицы. Для этого используем уравнения Максвелла–Лоренца [2; 9]: $\text{rot} \mathbf{H} = \epsilon d\mathbf{E}/dt$; $\text{rote} = -\mu d\mathbf{H}/dt$; $\text{div} \mu \mathbf{H} = 0$; $\text{div} \epsilon \mathbf{E} = \rho$, а также операции векторного анализа $\text{rot} \text{rot} \mathbf{U} = \text{grad} \text{div} \mathbf{U} + \nabla^2 \mathbf{U}$; $\nabla \rho = \text{grad} \rho$ и правило векторного произведения трех векторов [10]:

$$\begin{aligned} \text{rot} \text{rot} \mathbf{P}_p &= \text{rot}(\text{rot} \mathbf{E} \times \text{rot} \mathbf{H}) = \text{rot} \mathbf{E} \text{rot} \text{rot} \mathbf{H} - \text{rot} \mathbf{H} \text{rot} \text{rot} \mathbf{E} = \\ &= \text{rot} \mathbf{E} [\text{grad} \text{div} \mathbf{H} - \nabla^2_{(yz-ct)} \mathbf{H}] - \text{rot} \mathbf{H} [\text{grad} \text{div} \mathbf{E} - \nabla^2_{(yz-ct)} \mathbf{E}] = \\ &= [\nabla^2_{(yz-ct)} d(\mu H^2 + \epsilon E^2)/dt + \nabla_{(yz-ct)} \rho d(-\mathbf{E})/dt] = \\ &= \Delta d(\mu H^2 + \epsilon E^2)/dt + \text{grad} \rho d(-\mathbf{E})/dt; \end{aligned} \quad (4)$$

по аналогии:

$$\text{rot} \text{rot} \mathbf{P}_e = \text{rot}(\text{rot} \mathbf{H} \times \text{rot} \mathbf{E}) = -[\nabla^2_{(yz-ct)} d(\mu H^2 + \epsilon E^2)/dt - \nabla_{(yz-ct)} \rho d\mathbf{E}/dt] = -\Delta d(\mu H^2 + \epsilon E^2)/dt + \text{grad} \rho d\mathbf{E}/dt, \quad (5)$$

где \mathbf{H} – вектор магнитной составляющей электромагнитного процесса; \mathbf{P}_p и \mathbf{P}_e – вектор потока мощности (вектор Умова–Пойнтинга) электромагнитного про-

цесса правовинтовой и левовинтовой ротации соответственно; $\nabla_{(xyz-ct)} = \nabla$ – четырехмерный оператор Гамильтона; $(\nabla\nabla) = \nabla^2_{(xyz-ct)} = \Delta$ – четырехмерный оператор Лапласа пространственно-временного континуума; $\mu\epsilon = 1/c^2$ – магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость и электродинамическая константа соответственно.

Ротация вектора потока мощности электромагнитного процесса образует плотность мощности этого процесса, содержащего электромагнитную составляющую и электростатическую составляющую, образованную градиентом плотности электрического заряда и напряженностью поля электрической составляющей. Распространение этого процесса в ПВК за время τ дает сферическую частицу радиусом $R_\tau = c\tau$, на которой поверхностная плотность электромагнитной энергии $(\mu H^2 + \epsilon E^2)/4\pi R_\tau^2$ и поверхностная плотность электростатической энергии $E\rho/R_\tau$. При этом поток вектора электрической индукции $(\mathbf{D}S_\tau = \epsilon \mathbf{E}S_\tau$, где $D = \rho R_\tau$, так как $\text{div} \mathbf{D} = \rho$) через поверхность сферы $S_\tau = 4\pi R_\tau^2$ создает точечный элементарный электрический заряд частицы радиусом R_τ , образуемый ротацией вектора потока мощности ее электромагнитного процесса:

$$\epsilon E 4\pi R_\tau^2 = \rho R_\tau S_\tau = \rho v_\tau = e. \quad (6)$$

Потоки векторов электрической индукции электрона и протона равны, но противоположно направлены: у электрона к центру $+E$; у протона от центра $-E$; поэтому значения зарядов электрона и протона равны, но имеют противоположную полярность.

Исследуем расхождения данных процессов и определим их источники энергии. Известно, что $\text{div-rot} \mathbf{U} = 0$ [9; 10], тогда

$$\begin{aligned} \text{div rot} \mathbf{P}_p &= 0; \text{div rot} \mathbf{P}_e = 0; \\ \text{div}[\nabla^2_{(xyz-ct)} d(\mu H^2 + \epsilon E^2)/dt + \nabla_{(xyz-ct)} \rho d(-\mathbf{E})/dt] &= 0; \\ \text{div} - [\nabla^2_{(xyz-ct)} d(\mu H^2 + \epsilon E^2)/dt - \nabla_{(xyz-ct)} \rho d\mathbf{E}/dt] &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Сократив дифференцирование по времени $d\mathbf{E}/dt$ в левой и правой части этих дифференциальных уравнений, а также учитывая тождество $\nabla^2 \mathbf{U} \equiv \text{div grad} \mathbf{U}$ и $\text{grad} \phi = -\mathbf{E}$, получаем уравнения, связывающие электромагнитное и электростатическое электричество в ПВК заряженной элементарной частицы, созданной двойной ротацией электрического E и магнитного H векторов:

$$\begin{aligned} \text{div} \nabla^2 (\mu H^2 + \epsilon E^2) &= -\text{div} \nabla \rho (-\mathbf{E}) = -\nabla^2 \rho \text{ grad } \phi; \\ -\text{div} \nabla^2 (\mu H^2 + \epsilon E^2) &= \text{div} \nabla \rho \mathbf{E} = \nabla^2 \rho \text{ grad } \phi. \end{aligned} \quad (7a)$$

Данные выражения представляют собой уравнение Лапласа–Пуассона ($\nabla^2 \mathbf{U} = \rho$), решением которого являются функции Пуассона – гармонические функции [9; 10]. Следовательно, частица, образованная ротацией электромагнитного кванта, обретает соответствующий элементарный заряд и представляет собой электромагнитный солитон, образованный множеством гармонических колебаний [2; 9–11], т. е. происходит квантование ПВК. Минимальным квантом

ПВК, известным в настоящее время, является квант Планка, импульс энергии которого $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Джс [2]. Его частота квантования $f_h = (c^5/Gh)^{1/2} \sim 10^{43}$ Гц, размер кванта $r_h = (Gh/c^3)^{1/2} \sim 10^{-34}$ м, временной интервал $\tau_h = (Gh/c^5)^{1/2} \sim 10^{-43}$ с, плотность энергии кванта $w_h \sim hc/4 r_h^4 \sim 10^{106}$ Дж/м³.

Сократив в левой и в правой части дифференциального уравнения оператор Лапласа ($\nabla^2 = \Delta$), получим зависимость, связывающую плотность сил электромагнитного и электростатического электричества.

Для правосторонней ротации:

$$\text{div}(\mu H^2 + \epsilon E^2) = -\rho(-\mathbf{E}) = \text{div} \mathbf{D} \text{ grad } \phi.$$

Для левосторонней ротации:

$$\text{div}(\mu H^2 + \epsilon E^2) = -\rho \mathbf{E} = -\text{div} \mathbf{D} \text{ grad } \phi. \quad (7б)$$

Электростатические силы при правосторонней ротации направлены к центру частицы, при левосторонней ротации направлены от центра частицы. Следовательно, положительно заряженная частица сжимается электромагнитными и электростатическими силами. Отрицательно заряженная частица сжимается электромагнитными силами и растягивается электростатическими силами. Под действием этих сил образуется соответствующая частица. Поэтому размер и масса протона в 1 836 раз отличаются от размера и массы электрона, при равенстве значений их электрических зарядов [2].

Сократив в левой и правой частях дифференциальных уравнений (7б) оператор (div), получим уравнения, связывающие электростатическую и электромагнитную энергию заряженных частиц.

Для правосторонней ротации:

$$(\mu H^2 + \epsilon E^2) = \rho R_\tau \mathbf{E} = -\mathbf{D} \text{ grad } \phi.$$

Для левосторонней ротации:

$$(\mu H^2 + \epsilon E^2) = -\rho R_\tau \mathbf{E} = \mathbf{D} \text{ grad } \phi. \quad (7в)$$

В выражениях (7), (7а), (7б), (7в) показана взаимосвязь поверхностной плотности мощности, поверхностной плотности энергии, плотности электрических сил, плотности энергии электромагнитной и электростатической составляющих электрического процесса, совершающего ротацию, образующего материальный объект, обладающий электрическим зарядом и массой, например, элементарную частицу. Из этого следует, что энергия электромагнитной составляющей совершающего ротацию электрического процесса может переходить в энергию электростатической составляющей этого процесса, и наоборот, энергия из электростатической составляющей электрического процесса может переходить в его электромагнитную составляющую. Существуют эти процессы за счет взаимного превращения (сохранения) энергии электромагнитной и электростатической составляющих. Назовем данные процессы «законом сохранения энергии электричества», а выражения (7), (7а), (7б), (7в) – дифференциальной формой этого закона [12]. Согласно этой закономерности, под действием электриче-

ских сил устанавливается определенная кривизна ротации электрического процесса, соответствующий размер (классический радиус частицы [2]), а также энергия электромагнитной и электростатической составляющей совершающего ротацию электрического процесса [12].

Таким образом, показана закономерность превращения энергии электромагнитного электричества в потенциальную энергию электростатического электричества, заключающаяся в том, что электромагнитный квант, входя в область пространства, в которой суммарная плотность электрической и гравитационной энергии превышает плотность энергии электромагнитного кванта, поток мощности кванта совершает ротацию. В результате полуволна кванта с правосторонней ротацией образует частицу с положительным зарядом, например протон или позитрон, а полуволна с левой ротацией образует частицу с отрицательным электрическим зарядом, например электрон. В этой частице переменная и постоянная составляющие электромагнитного процесса вычитаются, а в частице с положительным зарядом эти составляющие складываются. Полученные расчетные значения энергий и размеров элементарных частиц согласуются с известными экспериментальными значениями параметров электрона, позитрона и протона [2; 11; 12].

Подобные превращения энергии электромагнитных квантов в электростатическую энергию плазмы заряженных частиц, взаимодействия которых порождают электромагнитные кванты, происходят в природе постоянно. В результате образуются и взрываются «сверхновые звезды», превращаясь в планетные системы, подобные Солнечной. На Земле миллиарды лет идут грозные процессы, обладающие колоссальной электрической энергией [2]. Но все это спонтанные процессы. Человек, управляя процессом превращения электромагнитного электричества в электростатическое электричество и электростатического электричества в электромагнитный процесс, может создать высокоэффективные электрические источники электроэнергии, не требующие сжигания топлива, природные ресурсы которого на планете весьма ограничены.

Рассмотрим превращение потенциальной энергии статического электричества в энергию электромагнитного процесса в виде электрического тока, проходящего по электрической цепи под действием разности потенциалов, создаваемых электрическими зарядами.

Выражения (4), (5), (7), (7а), (7б), (7в) показывают, что элементарная частица, обладающая электрическим зарядом, является источником электростатической энергии ($\rho \cdot \text{grad} \phi$, $eE_i r_i$). Это свойство электрически заряженной частицы позволяет создать неиссякаемый источник электрической энергии путем преобразования энергии электростатического электричества в электроэнергию [3; 4; 12–15]. Такая возможность обусловлена тем, что элементарный электрический заряд – мировая константа, а также в силу закона сохранения электрического заряда. $\text{Div } J = -dp/dt$, где

$J = \rho V$ – вектор плотности электрического тока; V – вектор скорости движения электрических зарядов [2].

Каждый элементарный электрический заряд создает вокруг себя радиальное электростатическое поле $E = e/\epsilon r_j^2$, где r_j – расстояние от центра частицы до точки наблюдения [2].

Потенциальная энергия электростатического поля частицы, обладающей электрическим зарядом, определяется формулой

$$W_q = Ee r_j = e^2/\epsilon r_j. \quad (8)$$

Для электрона и позитрона она составляет 511 кеВ, для протона – 939 МеВ. С такой энергией взаимодействуют заряженные частицы с другими заряженными объектами [2].

Взаимодействие электрических полей двух элементарных электрических зарядов создает плотность электрической энергии [2; 3; 7; 9]:

$$w_{oe} = \dot{\epsilon} E_1 E_2 = \dot{\epsilon} E^2, \quad (9)$$

где $\dot{\epsilon} = \epsilon - j\gamma/\omega$ – комплексная проницаемость; γ – электропроводимость среды; ω – циклическая частота.

Отсюда следует, что взаимодействие полей одноименных электрических зарядов создает электрическую энергию ($w_{oe} > 0$). При взаимодействии противоположных электрических зарядов происходит поглощение электрической энергии системой разнополярных электрических зарядов, так как $E_1(-E_2)$ или $(-E_1)E_2 \rightarrow (-w_{oe}) < 0$. При взаимодействии одноименных электрических зарядов происходит выделение энергии во внешнее пространство, так как $E_1 E_2$ и $(-E_1)(-E_2) \rightarrow w_{oe} > 0$.

Полная энергия взаимодействия электрических полей системы из двух одноименных точечных электрических зарядов в элементарном объеме v_i :

$$W_e = w_{oe} v_i = \dot{\epsilon} E^2 r_i^3 = ee/\epsilon r_i = e\phi_e. \quad (10)$$

Система из N одноименных электрических зарядов создает энергию

$$W_q = NeNe/\epsilon r_i = q_\Sigma \Delta\phi_{e\Sigma}. \quad (11)$$

Мощность электростатического источника электрической энергии, которая преобразуется в электроэнергию по ЭЭНТ с помощью электронного генератора электроэнергии (ЭГЭ):

$$P_q = \omega W_q = \omega q_\Sigma \Delta\phi_{e\Sigma} = I_e \Delta\phi_{e\Sigma}, \quad (12)$$

где r_i – среднее расстояние между точечными зарядами; $v_i = 4\pi r_i^3/3$ – элементарный объем взаимодействия в системе точечных зарядов; $\phi_e = e/\epsilon r_i$ – потенциал, создаваемый элементарным зарядом; $\Delta\phi_{e\Sigma} = N_e/\epsilon r_i$ – суммарная разность потенциалов, создаваемая системой элементарных зарядов относительно нулевого потенциала – заземления; $q_\Sigma = Ne$ – суммарный электрический заряд системы, состоящей из N элементарных зарядов; ω – циклическая частота колебаний электромагнитного процесса; $I_e = JS = RSdp/dt = dq_\Sigma/dt = \omega q_\Sigma$ – электрический ток, создаваемый системой

электрических зарядов, согласно закону сохранения электрического заряда $\operatorname{div} \mathbf{J} = -dp/dt$ [2].

Таким образом, электронный генератор электроэнергии можно эффективно использовать в качестве энергетических и силовых устройств на транспортных средствах – сухопутных, водных, воздушных, космических, которые будут выполнять свои функции, не разрушая рабочего вещества, не образуя отходов, негативно воздействующих на экологию, практически не создавая шумов [6].

Проверка принципиальной возможности осуществления ЭЭНТ и ее техническое осуществление с помощью ЭГЭ показаны в [4; 13; 14; 16]. Теоретические основы электронной энергетики представлены в [7; 8] и [12; 16], технические решения защищены патентом [4; 13].

ЭЭНТ, в силу ее достоинств, может стать ведущей технологией электроэнергетики третьего тысячелетия [14; 15; 17].

Библиографические ссылки

1. Топливо и энергетика России. М. : Энергия, 2005.
2. Физическая энциклопедия : в 4 т. М. : Рос. энцикл., 1990.
3. Казьмин Б. Н. Анализ новых представлений об электрическом заряде, поле, плазме, с целью создания новейших высокоэффективных технологий : докл. на 3-й Всерос. науч.-произв. конф. «Повышение эффективности ТЭК», 15–16 нояб. 2002. Красноярск, 2002.
4. Пат. RU № 2262793 С2, МПК⁷ H02 № 3/00. Способ производства энергии / Казьмин Б. Н. ; заявка 2002 134362/15, 19.12.2002 ; опубл. 20.10.2005. Бюл. № 29.
5. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М. : Наука, 1965.
6. Логунов А. А. Новые представления о пространстве, времени и гравитации // Наука и человечество : междунар. ежегодник. М. : Знание, 1988.
7. Казьмин Б. Н. Новый взгляд на электрический заряд – первичный источник энергии [Электронный ресурс]. URL: www.kgtu.runnet.ru/kgtu/science/1/kazmin. 1999 (дата обращения: 13.04.2011).
8. Казьмин Б. Н. Электрогравитация, электрический заряд и электричество [Электронный ресурс]. URL: www.kgtu.runnet.ru/kgtu/science/kazmin2. 2000 (дата обращения: 13.04.2011).
9. Шимони К. Теоретическая электротехника. М. : Мир, 1964.
10. Гольдфайн И. А. Векторный анализ и теория поля. М. : Изд-во физ.-мат. лит., 1962.
11. Защита от ионизирующих излучений : в 2 т. Т. 1. Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев [и др.]. М. : Атомиздат, 1982.
12. Казьмин Б. Н. Закономерность сохранения энергии электричества : заявка на науч. гипотезу от 18.01.2004 / Междунар. ассоциация авторов науч. открытий (МААНО). М., 2004.
13. Пат. RU № 2270513 С1, МПК H02K 51/00. Электродинамический движитель / Артемьев М. И., Казьмин Б. Н. ; заявка 2004 125020/09, 16.08.2004 ; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.
14. Казьмин Б. Н. Электронный генератор электроэнергии : сертификат Всерос. выставки «Красноярск-2009. Технологии будущего» 19–21 апр. 2009. Красноярск, 2009.
15. Бизнес-план создания, освоения и развития электронной энергетики // Лаб. НИОКР «Электронанотехнологии». Красноярск, 2005.
16. Казьмин Б. Н. Электронная электроэнергетика – экологически чистое производство электроэнергии // Альтернативная энергетика, экология и медицина. 2010. № 5.
17. Казьмин Б. Н., Артемьев М. И. Электронная энергетика и ее перспективы : докл. на межрегион. науч.-практ. конф. «Инновационное развитие регионов Сибири» 28 февр. – 1 марта 2006. Красноярск, 2006.

B. N. Kazmin, I. V. Trifanov

ABOUT POSSIBILITY OF CREATION OF ELECTRONIC SOURCE OF ELECTRIC POWER

The authors make a comparison of power characteristics of various kinds of fuel and electropower technologies which use fuel. Their low efficiency and negative influence on ecology is shown. Use of energy of fundamental electric interaction of electrones and cations gives the chance to create a highly effective non-polluting electric source of electric power. Theoretical bases and technical decisions of an electropower nanotechnology for electric power manufacture are presented. Its advantages before known electropower technologies are shown.

Keywords: fundamental electric interaction of electrones and cations, the law of conservation of energy of electricity, effective length of an electronic beam, reactor of electronic plasma, electronic generator of electric power, electrodynamic propelling device.

© Казьмин Б. Н., Трифанов И. В., 2011

МОДЕЛЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрено проецирование знаний из предметной области информатики на социальные и педагогические процессы. Проведен сравнительный анализ теории передачи информационного сигнала по компьютерным сетям и информационного сигнала педагогического воздействия в процессе лекции. Обозначена потенциальная предметная область глобального использования теории формирования информационного сигнала в социальных системах.

Ключевые слова: информационный сигнал, педагогический процесс, социальные системы.

Каждый преподаватель со временем углубляет компетентность в своей предметной области и начинает анализировать преподаваемые им знания с точки зрения их проецирования на социальные процессы. В этом смысле знания психологов, политологов, историков проецируются на социальную сферу напрямую. Однако мы полагаем, что и в блоке точных наук можно выделить системные особенности, ориентируясь на которые, можно более эффективно организовывать социальные процессы.

Для подтверждения этой гипотезы обратимся к теории кодирования сигнала для его передачи по линии связи в компьютерных сетях, т. е. обсудим, какой формы должен быть сигнал, для того чтобы он мог беспрепятственно пройти по глобальной или локальной сети. Говоря о форме сигнала, необходимо вспомнить, как кодируется текстовая информация. Для кодирования информации разработаны специальные правила, которые определяют соответствие двоичного кода букве, поэтому системы передачи информации при трансляции какого-либо слова в области данных сетевого пакета имеют дело непосредственно с битами, задающими буквенный состав этого слова.

Например, для передачи слова «информатика» сетевой аппаратуре придется обрабатывать следующие биты: 10001000 10001101 10010100 10011110 10010000 10001100 10000000 10010010 10001000 10001010 10000000 (битовый эквивалент буквы определен по таблице ASCII). Рассматривая эту битовую последовательность в совокупности, подчеркнем ее проблемные зоны: 1000100010001101100101001001110100100001000110010000000100100 10100010001000101010000000. В данном сигнале проблемными оказались длинные (больше трех) последовательности нулей. К проблемам передачи данных также могут привести и длинные последовательности единиц.

Рассмотрим спектр сигнала при потенциальном кодировании [1]. Пусть логическая единица кодируется положительным потенциалом, а логический ноль – отрицательным потенциалом такой же величины. Для упрощения вычислений предположим, что передается информация, состоящая из бесконечной последова-

тельности чередующихся единиц и нулей (рис. 1). Такой идеализированный сигнал действительно возникает при передаче данных, его пускают перед пакетом (как преамбулу), для того чтобы задать приемнику синхронизацию.

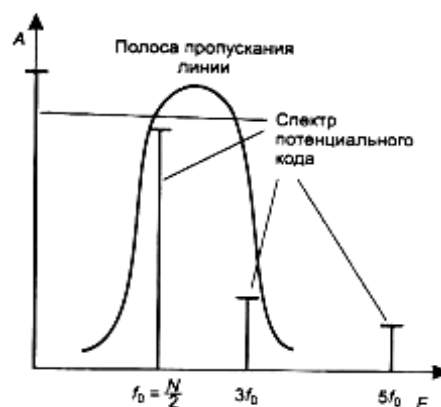


Рис. 1. Спектр сигнала при потенциальном кодировании

Спектр для потенциального кодирования непосредственно определяется по формулам Фурье для периодической функции. Если дискретные данные передаются с битовой скоростью N бит/с, то спектр состоит из постоянной составляющей нулевой частоты и бесконечного ряда гармоник с частотами $f_0, 3f_0, 5f_0, 7f_0, \dots$, где $f_0 = N/2$. Амплитуды этих гармоник убывают достаточно медленно – с коэффициентами $1/3, 1/5, 1/7, \dots$, от амплитуды гармоники f_0 (см. рис. 1). В результате для качественной передачи спектра потенциального кода необходима широкая полоса пропускания. Фактическая ширина полосы пропускания линии связи зависит от характеристик кабеля, но при этом нужно учесть, что реальный спектр сигнала постоянно меняется в зависимости от того, какие данные передаются по линии связи. Например, передача длинной последовательности нулей или единиц сдвигает спектр в сторону низких частот, а в случае когда передаваемые данные состоят только из единиц (или только из нулей), в спектр входят только гармоники нулевой частоты. При передаче чередующихся единиц и нулей постоянная составляющая отсутствует.

Поэтому спектр результирующего сигнала потенциального кода при передаче произвольных данных занимает полосу от величины, близкой к 0 Гц, до величины $7f_0$ (гармониками с частотами выше $7f_0$ можно пренебречь из-за их малого вклада в результирующий сигнал).

При амплитудной модуляции спектр сигнала выглядит иначе, но общая тенденция остается прежней. Следовательно, для того чтобы процесс передачи данных по локальной или глобальной сети был эффективным, сигнал не должен иметь длинных последовательностей нулей и единиц. Реализуется это предварительной обработкой сигнала (например, скремблированием, логическим кодированием), которой занимаются определенные сетевые протоколы. Однако в данной статье уделять внимание этим технологиям мы не будем, приведем лишь простое, но доказанное теорией передачи сигнала утверждение: для достижения эффективности какого-либо процесса нужно организовать системную периодичность решения поставленных задач, с одной стороны, не перегружая течение этого процесса активно выполняемыми задачами, а с другой – не ослабляя его длительно.

Это утверждение подтверждают многие жизненные процессы, например физическое здоровье человека и занятия спортом. Условно обозначим через единицу физическую нагрузку, через ноль – отсутствие физической нагрузки. Для спортсмена в модели действий будет более свойственна единица, а для обычного человека – ноль, однако переизбыток последовательных единиц вызывает истощение сил, травмы, а переизбыток нулей – атрофированные мышцы и, возможно, другие проблемы со здоровьем. Таким образом, мы эмпирически подошли к идее ценности сбалансированного процесса для достижения поставленной цели.

Эта идея была спроецирована на научное исследование, проведенное автором в 2005–2009 гг. [2; 3].

В ходе этого исследования выделены критерии оценки проведения лекции с точки зрения усвоения информации, по которым была разработана модель, интерпретированная в компьютерную программу, с помощью которой можно исследовать лекционный процесс и строить графики (диаграммы), отражающие сущность реализуемого преподавателем воздействия (рис. 2).

С точки зрения теории сигналов, мы видим на рис. 2 не двухуровневый, а девятиуровневый сигнал, однако выводы от этого не меняются: для того чтобы усвоение информации на лекции было успешным, ее информационная активность с течением времени должна быть распределена и сбалансирована по уровням. Длинные последовательности вещания в рамках одного уровня информационной активности приводят к снижению эффективности усвоения лекционного материала. Таким образом, мы опять видим связь теории передачи информации по сети с результатами, которые были получены в ходе научного исследования педагогического процесса.

Автором также исследовалась возможность развития педагогической компетенции магистрантов с помощью разработанной компьютерной программы Lecture Model, в основу которой было положено соответствующее педагогическое обеспечение: программа и содержание курса «Основы научно-педагогической деятельности», рекомендации по реализации этапов данного курса и написанию учебных пособий, методы обучения, средства анализа. В результате использования этой программы у обучаемых были сформированы умения по организации информационно-педагогического общения, что подтвердило целесообразность применения предложенного педагогического обеспечения как средства развития личностных качеств магистрантов (внимательности, уверенности в себе, заинтересованности в овладении знаниями, ответственности) и повышения качества подготовки специалистов.



Рис. 2. График распределения информационной активности на лекции (фрагмент)

В заключение необходимо отметить, что научное исследование эффективности реализации какого-либо социального процесса всегда достаточно длительно и плохо поддается статистической обработке, но если опираться на основы теории передачи данных по сети как на упрощенную модель успешности реализации социального процесса, то можно гораздо эффективнее разрабатывать методики достижения поставленной цели как в вопросах коммуникационного взаимодействия, так и в вопросах восприятия любого другого значимого для человека сигнала.

Yu. B. Kozlova

A MODEL FOR INFORMATION COMMUNICATION

In this work the author dwells upon informatics domain knowledge projection on social and pedagogical processes. Besides, the author performs comparative analysis of information signal transmission theory by means of networks and pedagogical influence of information signal during lectures, and identifies potential domain in the global utilization of the information signal formation theory in social systems.

Keywords: data signal, pedagogical process, social systems.

© Козлова Ю. Б., 2011

УДК 519.24

А. В. Лапко, В. А. Лапко, И. И. Струков, А. А. Гусаров

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КЛАССИФИКАТОР И КРИТЕРИЙ КОЛМОГОРОВА В ЗАДАЧЕ СРАВНЕНИЯ ЭМПИРИЧЕСКОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Рассматривается применение непараметрического алгоритма распознавания образов в задаче сравнения эмпирической и теоретической функций распределения одномерной случайной величины. По результатам вычислительных экспериментов проводится анализ предлагаемой методики и критерия Колмогорова.

Ключевые слова: непараметрическая статистика, распознавание образов, проверка статистических гипотез, распределение случайных величин, критерий Колмогорова.

Непараметрические алгоритмы распознавания образов, соответствующие критерию максимального правдоподобия, успешно использовались при сравнении эмпирических функций распределения случайных величин [1]. Разработанная на их основе методика позволяет обойти трудно формализуемую проблему разбиения области возможных значений случайной величины на интервалы, которая свойственна критерию согласия Пирсона. Предлагаемая методика при проверке гипотезы о тождественности эмпирических законов распределения одномерных случайных величин имеет результаты, сопоставимые с результатами, полученными с помощью критерия Смирнова [2].

Цель данной работы состоит в развитии методики проверки гипотез о распределениях, основанных на непараметрических алгоритмах распознавания образов, и ее обобщении для решения задачи сравнения эмпирического и теоретического распределения случайных величин.

Библиографические ссылки

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб. : Питер, 2001.
2. Козлова Ю. Б., Адольф В. А. О методике совершенствования педагогического мастерства // Высш. образование сегодня. 2007. № 9. С. 35–37.
3. Козлова, Ю. Б. Организация совершенствования информационно-педагогического общения // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 4 (21). С. 210–214.

Критерий Колмогорова. Пусть $F_2(x)$ – известная функция распределения одномерной случайной величины x , предполагаемая непрерывной. Имеется реализация $V_1 = (x^i, i = \overline{1, n_1})$ случайной величины, которая определяет эмпирическое распределение $\bar{F}_1(x)$. Необходимо проверить либо опровергнуть гипотезу

$$H_0 : F_2(x) \equiv F_1(x)$$

о тождественности законов распределения.

Для проверки статистической гипотезы H_0 на основе критерия Колмогорова оценим по выборке V_1 функцию распределения $F_1(x)$ случайной величины x :

$$\bar{F}_1(x) = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} 1(x - x^i),$$

где

$$1(x - x^i) = \begin{cases} 0, & \text{если } x - x^i < 0; \\ 1, & \text{если } x - x^i \geq 0. \end{cases}$$

Анализируя значения эмпирической $\bar{F}_1(x)$ и теоретической $F_2(x)$ функций распределения, определим максимальное расхождение между ними:

$$\bar{D}_{12} = \max_x |\bar{F}_1(x) - F_2(x)|.$$

В соответствии с критерием Колмогорова [3] сравним полученное максимальное расхождение \bar{D}_{12} с пороговым:

$$D_\alpha = \sqrt{-\ln\left(\frac{\alpha}{2}\right) / (2n_1)}, \quad (1)$$

где α – принятый уровень доверия (риск отвергнуть гипотезу H_0 , например, $\alpha = 0,05$).

Если выполняется условие $\bar{D}_{12} < D_\alpha$, то гипотеза H_0 справедлива, иначе анализируемые законы распределения различаются.

Непараметрический алгоритм распознавания образов в задаче проверки гипотезы H_0 . Известно, что если при решении двальтернативной задачи распознавания образов вероятность ошибки классификации ρ равна 0,5, то законы распределения случайных величин в области определения классов совпадают. Поэтому появляется возможность перехода от задачи сравнения законов распределения случайных величин к проверке гипотезы H_0 о равенстве вероятности ошибки распознавания образов значению 0,5.

На основании априорной информации осуществим синтез непараметрического распознавания образов, соответствующего критерию максимального правдоподобия [4]:

$$\bar{m}(x) : \begin{cases} x \in \Omega_1, & \text{если } \bar{f}_{12}(x, c) \leq 0; \\ x \in \Omega_2, & \text{если } \bar{f}_{12}(x, c) > 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $\bar{f}_{12}(x, c) = p_2(x) - \bar{p}_1(x, c)$ – непараметрическая оценка уравнения разделяющей поверхности между классами Ω_1, Ω_2 ; $p_2(x), \bar{p}_1(x, c)$ – плотность вероятности распределения x в классе Ω_2 и оценка плотности вероятности $x \in \Omega_1$. При формировании $\bar{f}_{12}(x, c)$ используем непараметрическую оценку плотности вероятности одномерной случайной величины типа Розенблатта–Парзена [5]

$$\bar{p}_1(x, c) = \frac{1}{n_1 c} \sum_{i=1}^{n_1} \Phi\left(\frac{x - x^i}{c}\right), \quad (3)$$

восстанавливаемой по статистическим данным $V_1 = (x^i, i = \overline{1, n_1})$. Ядерные функции $\Phi(u)$ в статистике (3) удовлетворяют условиям

$$\Phi(u) = \Phi(-u), \quad 0 \leq \Phi(u) < \infty,$$

$$\int \Phi(u) du = 1, \quad \int u^2 \Phi(u) du = 1,$$

$$\int u^m \Phi(u) du < \infty, \quad 0 \leq m < \infty,$$

а значения их коэффициентов размытости c убывают с ростом количества n_1 элементов выборки V_1 . Бесконечные пределы интегрирования в приведенных условиях опускаются.

Выбор оптимального значения \bar{c} коэффициента размытости непараметрического решающего правила $\bar{m}(x)$ осуществляется из условия минимума оценки вероятности ошибки распознавания образов

$$\bar{\rho}(c) = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} 1(\sigma(t), \bar{\sigma}(t)),$$

где индикаторная функция

$$1(\sigma(t), \bar{\sigma}(t)) = \begin{cases} 0, & \text{если } \sigma(t) = \bar{\sigma}(t); \\ 1, & \text{если } \sigma(t) \neq \bar{\sigma}(t), \end{cases}$$

где $\sigma(t)$ – «указание» о принадлежности наблюдения x^t из выборки V_1 классу Ω_1 . При вычислении $\bar{\rho}(c)$ «решение» $\bar{\sigma}(t)$ алгоритма (2) об отнесении наблюдения x^t к тому или иному классу определяется в соответствии со знаком статистики

$$\bar{f}_{12}(x^t) = p_2(x^t) - \frac{1}{n_1 c} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq t}}^{n_1} \Phi\left(\frac{x^t - x^i}{c}\right),$$

т. е. ситуация x^t , которая подается на контроль, исключается из процесса обучения непараметрического алгоритма (2).

В соответствии с критерием Колмогорова проверим гипотезу \bar{H}_0 : $\rho(c) = 0,5$. Для этого сравним его пороговое значение (1) с отклонением $\bar{D}_{12} = |0,5 - \bar{\rho}(c)|$ при вероятности α отвергнуть правильную гипотезу \bar{H}_0 .

Если выполняется соотношение $\bar{D}_{12} < D_\alpha$, то гипотеза \bar{H}_0 справедлива, иначе она отвергается.

Анализ результатов вычислительных экспериментов. Сравнение эффективности предложенной методики проверки гипотезы о распределениях случайных величин и критерия Колмогорова проводилось по данным вычислительных экспериментов. Последовательность случайных наблюдений $V_1 = (x^i, i = \overline{1, n_1})$ формировалась на основе датчиков случайных величин с равномерным $x^i = \varepsilon^i$ и нормальным $x^i = 0,5 + 0,15 \left(\sum_{j=1}^{12} \varepsilon^j - 6 \right)$, $i = \overline{1, n}$ законами распреде-

ления. Случайные величины ε с равномерным законом распределения определены на интервале $[0, 1]$. При их формировании использовался стандартный датчик псевдослучайных величин среды визуального программирования Delphi.

Вычислительные эксперименты при фиксированных условиях исследования осуществлялись $N = 100$ раз. Если сравниваемые законы распределения отличались, то оценивалась вероятность P_1 отклонения гипотезы H_0 . При априори тождественных законах распределения случайных величин по полученным результатам оценивалась вероятность P_2 выполнения гипотезы H_0 . Риск α отвергнуть гипотезу H_0 принимался равным 0,05.

При синтезе непараметрического классификатора $\bar{m}(x)$ использовались параболические ядерные функции В. А. Епанечникова [6].

Рассмотрим результаты вычислительных экспериментов, когда сравниваемые законы распределения случайных величин разные (рис. 1). При $n_1 > 20$ рассматриваемые критерии безошибочно отклоняют гипотезу H_0 . В интервале малых значений $n_1 < 20$ применение сравниваемых критериев приводит к неудовлетворительным результатам, что, возможно, зависит от качества используемого датчика случайных величин.

Если априори законы распределения случайных величин тождественны, то для достаточно широкого интервала изменения объема $n_1 < 200$ анализируемой выборки оценки вероятности справедливости гипотезы H_0 при использовании критерия Колмогорова и предлагаемой методики сопоставимы (рис. 2). При увеличении $n_1 > 200$ наблюдается снижение эффективности исследуемой методики как при сравнении равномерных законов случайных величин (рис. 2, а),

так и, что особенно характерно, при сравнении нормальных законов случайных величин (рис. 2, б).

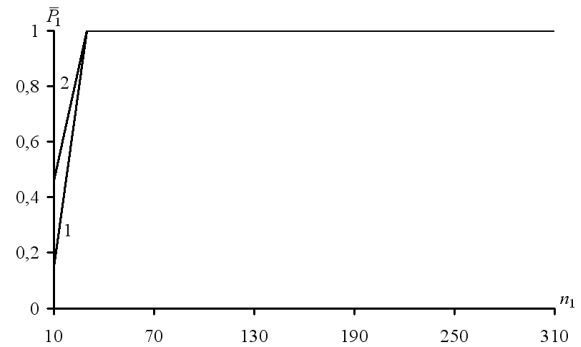
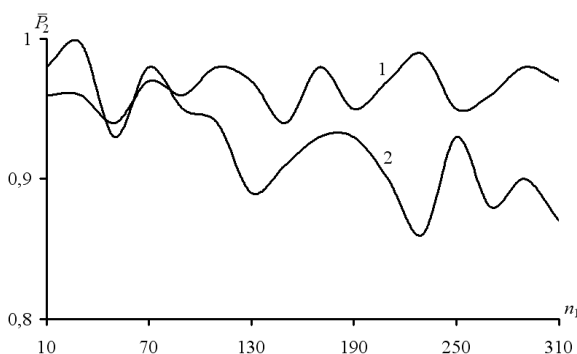


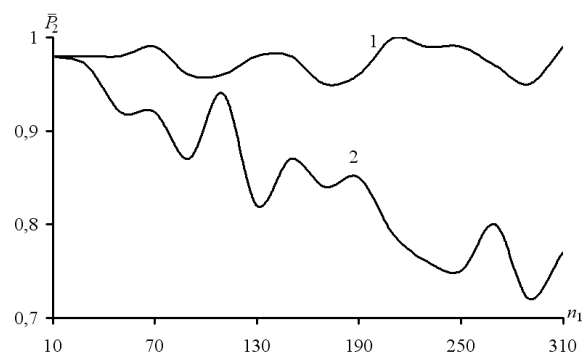
Рис. 1. Зависимости оценок \bar{P}_1 вероятностей отклонения гипотезы H_0 от объема n_1 выборки V_1 при сравнении равномерного и нормального законов распределения случайных величин. Кривые 1, 2 получены при использовании соответственно критерия Колмогорова и исследуемой методики

Показана возможность использования непараметрического алгоритма распознавания образов, соответствующего критерию максимального правдоподобия, в задаче сравнения эмпирической и теоретической функций распределения случайных величин. Существуют условия, когда использование предлагаемой методики и критерия Колмогорова приводит к сопоставимым результатам. К ним относятся задачи проверки гипотез при разных законах распределения случайных величин; при одинаковых законах распределения, когда объем сравниваемой последовательности принадлежит относительно малым значениям $n_1 < 200$.

Перспективность предлагаемой методики заключается в возможности ее обобщения для решения задач проверки гипотез о распределениях многомерных случайных величин с обходом проблемы разбиения области их значений на интервалы.



а



б

Рис. 2. Зависимости оценок \bar{P}_2 вероятностей справедливости гипотезы H_0 от объема n_1 выборки V_1 в условиях априори одинаковых законов распределения: равномерных (а); нормальных (б). Обозначения кривых соответствуют рис. 1

Библиографические ссылки

1. Лапко А. В., Лапко В. А. Непараметрические алгоритмы распознавания образов в задаче проверки статистической гипотезы о тождественности двух законов распределения случайных величин // Автометрия. 2010. Т. 46. № 6. С. 47–53.

2. Лапко А. В., Лапко В. А. Применение непараметрического алгоритма распознавания образов в задаче проверки гипотезы о распределениях случайных величин // Системы управления и информационные технологии. 2010. Т. 41. № 3. С. 8–11.

3. Пугачев В. С. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : Наука, 1979.

4. Непараметрические системы классификации / А. В. Лапко, В. А. Лапко, М. И. Соколов, С. В. Ченцов. Новосибирск : Наука, 2000.

5. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Ann. Math. Statistic. 1962. Vol. 33. № 3. P. 1065–1076.

6. Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // Теория вероятности и ее применения. 1969. Т. 14. Вып. 1. С. 156–161.

A. V. Lapko, V. A. Lapko, I. I. Strukov, A. A. Gusarov

NONPARAMETRIC QUALIFIER AND KOLMOGOROV'S CRITERION IN THE TASK OF MATCHING OF EMPIRICAL AND THEORETICAL CUMULATIVE DISTRIBUTION FUNCTIONS OF AN ONE-DIMENSIONAL RANDOM VARIABLE

Application of nonparametric algorithm of pattern recognition in the task of matching of empirical and theoretical cumulative distribution functions of an one-dimensional random variable is considered. By results of computing experiments the analysis of an offered technique and Kolmogorov's criterion is carried out.

Keywords: nonparametric statistics, pattern recognition, check of statistical hypotheses, allocation of random variables, Kolmogorov's criterion.

© Лапко А. В., Лапко В. А., Струков И. И., Гусаров А. А., 2011

УДК 681.3

М. А. Масюк

АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ В СПРАВОЧНО-ПРАВОВЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена сложившаяся в Российской Федерации ситуация, связанная со стремительным ростом количества принимаемых документов законодательского характера, значительная часть которых носит поправочный характер, т. е. содержит в себе ссылки на другие акты. Анализ множества документов с их взаимосвязями является сложным, но при этом рутинным занятием, которое требует наличия высококвалифицированных специалистов. Автором предложен комплексный подход к совершенствованию справочно-правовых систем и электронных баз данных путем интеграции в них системы, реализующей визуальное отображение взаимосвязей документов и их анализ на соответствие нормам законодательства.

Ключевые слова: нормативно-правовой документ, анализ, визуализация.

В последние годы в Российской Федерации и ее субъектах наблюдается стремительный рост законодательской деятельности, который, однако, не свидетельствует о высоком качестве правового регулирования [1]. С развитием законодательной базы существенно возрастает количество производных нормативно-правовых актов: законов, постановлений, указов, значительная часть которых носит поправочный характер, т. е. содержит в себе ссылки на другие документы с описанием вносимых в текст поправок или отменой ранее действующих документов. Такие ссылки одних документов на другие образуют единую связанную структуру – ориентированный граф, который можно рассматривать на множестве документов какой-либо электронной базы данных или справочно-

правовой системы в рамках законодательства Российской Федерации или ее отдельного субъекта. Однако представление общей картины путем анализа текстов является трудоемкой процедурой. Кроме того, существует вероятность возникновения противоречий с формальными правилами и нормами законодательного процесса, закрепленными в виде специальных документов [2; 3].

Автором предлагается комплексный подход к совершенствованию справочно-правовых систем и электронных баз данных путем интеграции в них системы, реализующей визуальное отображение взаимосвязей нормативно-правовых документов и их автоматический анализ на предмет соответствия нормам законодательства. Рассматриваемый подход облегчает про-

цедуры кодификации и мониторинга законодательной базы, способствует повышению эффективности работы экспертов, юристов, а также качества принимаемых законов в целом. Практическое значение может иметь как анализ уже существующей законодательной базы, так и потоковый анализ всех принимаемых законодательных актов.

Математическая модель и теоретическое обоснование. Для формализации предметной области предлагается следующая математическая модель взаимосвязей документов. Задан массив (база данных) документов $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$, где s_i – i -й документ массива, здесь $i = 1, \dots, N$, N – общее число документов в массиве.

Структура документа s_i представляет собой упорядоченный набор атрибутов $\langle a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik_i}, R_i \rangle$, где $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik_i}$ – информационные атрибуты i -го документа (такие как название, номер, дата принятия); R_i – специальный атрибут для связи с другими документами из множества S .

Документы множества S упорядочены по одному из своих атрибутов – дате принятия.

Между документами S существует система связей $L = \{l_{ij}, i, j = 1, \dots, N, i \neq j\}$, где l_{ij} – связь документа s_i с документом s_j , $l_{ij} \in \Lambda = \{\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}$, т. е. l_{ij} принимает значения из множества Λ типов связей, причем:

– $l_{ij} = \lambda_0$ тогда и только тогда, когда документ s_i не имеет в своем тексте ссылки на документ s_j , т. е. λ_0 – нулевая связь;

– $l_{ij} = \lambda_1$ тогда и только тогда, когда в тексте документа s_i содержатся указания о внесении изменений в документ s_j , т. е. λ_1 – изменяющая связь;

– $l_{ij} = \lambda_2$ тогда и только тогда, когда в тексте документа s_i содержатся указания о признании утратившим силу документа s_j , т. е. λ_2 – отменяющая связь;

– $l_{ij} = \lambda_3$ тогда и только тогда, когда документ s_i имеет в своем тексте упоминание о документе s_j , но семантическое значение этого упоминания не соответствует ни λ_1 , ни λ_2 , т. е. λ_3 – связь произвольного типа.

Определение окрестности документа. *Окрестностью первого уровня* K_i^1 документа s_i называется подмножество документов множества S , имеющих ссылку на документ s_i (стоковая часть окрестности), в объединении со множеством документов, на которые имеется ссылка в документе s_i (истоковая часть окрестности):

$$K_i^1 = K_i^{1+} \cup K_i^{1-},$$

где

$$K_i^{1+} = K_i^{1+}(s_i) = \bigcup_{j=1}^N s_j \mid l_{ji} \neq \lambda_0;$$

$$K_i^{1-} = K_i^{1-}(s_i) = \bigcup_{j=1}^N s_j \mid l_{ij} \neq \lambda_0, i = 1, \dots, N.$$

Окрестностью второго уровня K_i^2 документа s_i называется множество

$$\begin{aligned} K_i^2 &= K_i^1 \cup \bigcup_{j=1}^N K_j^1 \mid s_j \in K_i^1 = K_i^1 \cup \bigcup_{j=1}^N \left(\bigcup_{k=1}^N s_k \mid l_{kj} \neq \lambda_0 \right) \mid s_j \in \\ &\in K_i^1 \cup \bigcup_{j=1}^N \left(\bigcup_{k=1}^N s_k \mid l_{jk} \neq \lambda_0 \right) \mid s_j \in K_i^1 = \\ &= K_i^1 \cup K_i^{2+} \cup K_i^{2-}, i = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

Окрестностью n -го уровня называется множество

$$\begin{aligned} K_i^n &= K_i^1 \cup K_i^2 \cup \dots \cup K_i^{n-1} \cup \bigcup_{j=1}^N K_j^1 \mid s_j \in K_i^{n-1} = \\ &= K_i^{1+} \cup K_i^{1-} \cup K_i^{2+} \cup K_i^{2-} \cup \dots \cup K_i^{n+} \cup K_i^{n-}, \\ &i = 1, \dots, N. \end{aligned}$$

Определение потенциально опасных с точки зрения несоблюдения норм законодательства связей и документов. Выделим L^1, L^2, \dots, L^A – подмножества множества L и $C = \{C_1, C_2, \dots, C_A\}$ – систему условий (критериев). Связь l_{ij} является потенциально опасной и принадлежит L^a , $a = 1, \dots, A$, тогда и только тогда, когда она удовлетворяет критерию C_a :

$$l_{ij} \in L^a \Leftrightarrow C_a(l_{ij}) = 1,$$

где $L^a \subseteq L$; $C_a \in C$, $a = 1, \dots, A$.

Аналогично для документов: S^1, S^2, \dots, S^B – подмножества множества S и $C' = \{C'_1, C'_2, \dots, C'_B\}$ – система условий (критериев). Документ s_i является потенциально опасным и принадлежит S^b , $b = 1, \dots, B$, тогда и только тогда, когда он удовлетворяет критерию C'_b :

$$s_i \in S^b \Leftrightarrow C'_b(s_i) = 1,$$

где $S^b \subseteq S$; $C'_b \in C'$, $b = 1, \dots, B$.

Для формального описания критериев потенциально опасных ситуаций предлагается логический аппарат метаправил, причем эволюция норм и правил законодательства влечет добавление или изменение метаправил и, как следствие, расширение возможностей системы, но не изменение ее алгоритма работы.

Примерами связей, потенциально опасных с точки зрения противоречия нормам законодательства, могут служить:

– ссылки любого из трех типов на документ, который был отменен ранее. Этим ссылкам соответствует критерий

$$C_1(l_{xi}) = [\exists l_{yi} \mid l_{yi} = \lambda_2, x > y, i, x, y = 1, \dots, N];$$

– ссылки типа «внесение изменений» на документ, от которого исходит ссылка того же типа. В реальной ситуации это означает, что вносятся изменения в закон, который сам вносит изменения в другой закон,

что недопустимо [2, п. 57]. Этим ссылкам соответствует критерий

$$C_2(I_{xy}) = [I_{xi} = \lambda_2, \exists I_{iy} = \lambda_2, \quad i, x, y = 1, \dots, N].$$

Практическая реализация системы. Разработанная автором система анализа и визуализации нормативно-правовых документов включает в себя три функциональных модуля:

- подсистему расстановки гиперссылок документов;
- подсистему автоматического анализа связанной структуры на наличие связей, некорректных с точки зрения норм законодательства;
- подсистему визуализации окрестностей нормативно-правовых документов.

Подсистема расстановки гиперссылок документов. В основе этой подсистемы лежит лингвистический анализатор, выполняющий автоматическую расстановку гиперссылок одних документов на другие в рамках электронной базы данных (БД). Способ реализации подсистемы гиперссылок может варьироваться в зависимости от особенностей электронной БД и клиентского приложения.

Выделяются два принципиально разных подхода к расстановке гиперссылок в документах:

- предварительная обработка документов с добавлением к ним метаданных, содержащих информацию об имеющихся ссылках на другие документы окрестности;
- потоковая обработка документов по запросу пользователя или других подсистем без редактирования документов.

Первый способ является более предпочтительным, так как он не нуждается в повторяющихся вычислениях, но требует редактирования данных родительской СУБД. Еще одно преимущество первого подхода состоит в том, что он позволяет улучшить качество взаимодействия системы с пользователем путем организации перехода от документа к документу посредством использования гиперссылки, что может быть реализовано при условии доработки клиентского приложения.

Для организации гиперссылок в системе применяется лингвистический анализатор, выполняющий следующие функции:

- корректного распознавания наличия ссылок в тексте документа;
- автоматического распознавания типа ссылки (отмена документа, внесение поправок в текст и др.);
- анализа наличия документов, на которые выявлена ссылка, в рассматриваемой электронной базе данных;
- добавления в документ метаданных о ссылках (для способа предварительной обработки документа).

Подсистема автоматического анализа связанной структуры. Множество взаимосвязанных нормативно-правовых документов образуют единую связанную структуру, или взвешенный ориентированный граф, ребра которого имеют три возможных значения веса $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Вершины графа также имеют различный

тип в зависимости от соответствующего им документа и его функциональной направленности (например, о внесении изменений, о признании законов утратившими силу и т. д.).

Назначение этой подсистемы состоит в автоматическом анализе окрестностей исследуемого документа и обнаружении потенциально опасных с точки зрения норм законодательства ситуаций. На данном этапе развития системы практический интерес представляет анализ окрестностей не более чем второго уровня, так как визуальное восприятие более широких окрестностей затруднительно, а используемые критерии не оперируют узлами, расположенными от исследуемого на большем расстоянии.

Для решения задачи обнаружения потенциально опасных связей нормативно-правовых документов в подсистеме автоматического анализа применена технология интеллектуальных агентов [4]. По запросу пользователя либо при выполнении автоматического фонованого анализа законодательной базы на вход интеллектуального агента последовательно передаются исследуемые документы. Затем агент, используя доступную базу знаний – критериев потенциальной опасности, анализирует окрестность входного документа и принимает решение о наличии или отсутствии возможных противоречий в его входящих и исходящих связях.

Графическое построение окрестности нормативно-правового документа и последующий анализ осуществляются обходом графа, т. е. систематическим перемещением по ребрам и посещением всех вершин, удаленных от начальной на заданное расстояние [5]. В настоящее время существуют два алгоритма обхода графа, известные под названиями «Обход в глубину» (Depth First Search, DFS) (рис. 1) и «Обход в ширину» (Breadth First Search, BFS) (рис. 2). Оба алгоритма широко распространены и служат основой для многих алгоритмов исследования структуры графа: поиска циклов в графе, топологической сортировки вершин, поиска компонент связности и сильной связности в графе, укладки графа, алгоритма Прима и алгоритма Дейкстры [6].

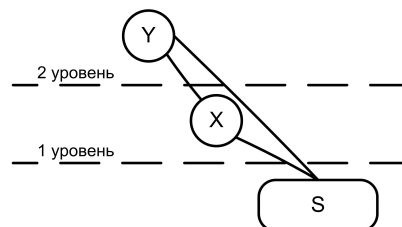


Рис. 1. Обход графа в глубину

Оба алгоритма имеют одинаковую сложность $\theta(V + E)$ [5] и приблизительно одинаковую скорость работы, однако применительно к решению задачи анализа и визуализации связей нормативно-правовых документов более предпочтительным является алгоритм BFS, т. е. алгоритм обхода в ширину.

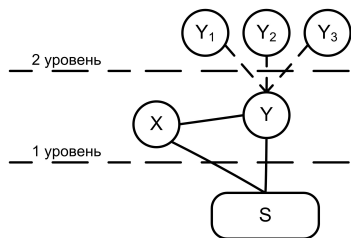


Рис. 2. Обход графа в ширину

Пусть глубина построения окрестности равна 2, а вершина Y построена по алгоритму DFS (рис. 1), тогда связанные с ней вершины Y_1, Y_2, Y_3 не будут содержаться на схеме связей несмотря на то, что в них имеется ссылка на Y , а значит потенциально они представляют интерес для пользователя. Схема связей, построенная по алгоритму BFS, который подразумевает первоочередное посещение наименее удаленных от начала обхода вершин (см. рис. 2), свободна от этого недостатка.

Подсистема визуализации взаимосвязей нормативно-правовых документов. Подсистема визуализации выполняет графическое отображение окрестности рассматриваемого документа заданной ширины. В основе ее реализации лежит классический алгоритм обхода графа в ширину [7], причем в результате его работы все ребра связанного графа оказываются разбитыми на два класса: древесные, по которым осуществлялись переходы из посещенных вершин в непосещенные, и ребра касания, замыкающие циклы. Частичный граф, порожденный древесными ребрами, называется *деревом поиска в глубину*, который также является каркасом графа, или остовным деревом [8]. Для удобства визуального восприятия схемы связей позиционирование узлов и выбор интервала между ними выполняются с учетом первичности расположения и выделения дерева поиска с последующим построением ребер касания, а построение стоковых и истоковых ветвей осуществляется соответственно вверх и вниз относительно рассматриваемой вершины (рис. 3).

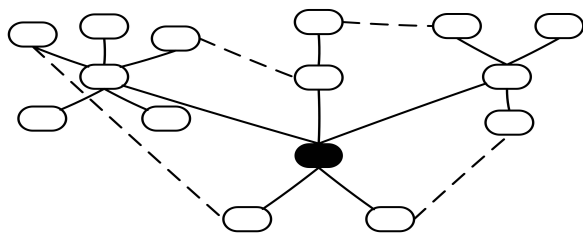


Рис. 3. Каркас графа и ребра касания (обозначены пунктиром)

Подсистема визуализации тесно связана с подсистемой автоматического анализа: для каждого строящегося узла в режиме реального времени программный агент осуществляет его проверку. Узел или смежные ему связи, удовлетворяющие критериям потенциальной опасности, имеют особое цветовое окрасивание.

Заложенный в этой подсистеме алгоритм дополнительно решает задачи обработки ситуаций с повто-

ряющимися узлами: построения циклов, расположения и масштабирования структуры на плоскости.

Подсистема визуализации имеет следующие особенности, повышающие ее гибкость и удобство использования:

- выделение цветом отдельных компонент графа;
- хронологически упорядоченное расположение вершин по горизонтали слева направо;
- наличие фильтров, ограничивающих множество отображаемых документов по их типам;
- возможность масштабирования изображения на экране компьютера и при печати;
- вывод всплывающих подсказок, содержащих более подробную информацию о документах и результатах работы подсистемы автоматического анализа.

Пример практического применения системы.

Рассмотрим сгенерированную описываемой системой схему связей закона Красноярского края № 9-584 от 24 декабря 1999 г. «О внесении дополнения в Закон Красноярского края «О зоне благоприятного инвестиционного климата „Красноярск“» (рис. 4).

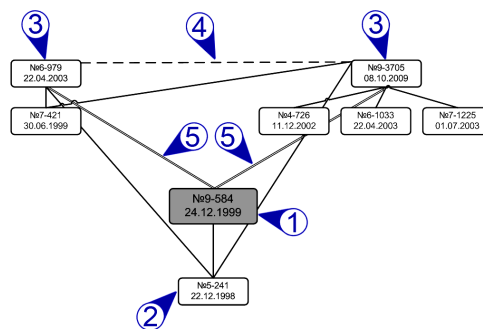


Рис. 4. Пример схемы связей нормативно-правового документа:

- 1 – основной рассматриваемый документ; 2 – документы источковой части графа; 3 – документы стоковой части графа; 4 – отсутствие связи между документами, которое система распознала как потенциально опасное с точки зрения норм законодательства; 5 – связи, которые система распознала как потенциально опасные с точки зрения норм законодательства

Такое графическое представление позволяет специалисту, имеющему дело с данным законом, обнаружить и заострить внимание как минимум на двух обозначенных системой потенциально опасных ситуациях в его окрестности:

– изображенные на схеме законы Красноярского края № 6-979 от 22 апреля 2003 г. и № 9-3705 от 8 октября 2009 г. признают утратившими силу ряд законов, т. е. по своей сути являются отменяющими. Но в то же время они оба ссылаются на закон № 9-584 от 24 декабря 1999 г., что дает риск дублирования его отмены, а также нарушения правила, приведенного в п. 80 [2] и п. 98 [3], говорящего о том, что в случае если закон утрачивает силу, то отдельными позициями указываются все законодательные акты, которыми в его текст ранее вносились изменения. На основании этих критериев система выдала предупреждение о возможно недостающей связи (4 на рис. 4);

– сам закон № 9-584 является изменяющим, поскольку п. 57 [2] и п. 75 [3] гласят, что изменения все-

гда вносятся только в основной законодательный акт, а вносить изменения в основной законодательный акт путем внесения изменений в изменяющий его законодательный акт недопустимо. Основываясь на этом критерии, система выделила две потенциально опасные связи (5 на рис. 4).

Технологии и инструменты, реализующие систему. В Законодательном собрании Красноярского края в режиме опытной эксплуатации функционирует прототип системы анализа и визуализации связей нормативно-правовых документов, интегрированный в автоматизированную систему обеспечения законодательной деятельности.

В основе реализации системы лежит продукт корпорации IBM Lotus Notes/Domino [9], представляющий собой объектно-ориентированную платформу типа «клиент–сервер», служащую для разработки, размещения и использования прикладных программ группового обеспечения. Платформа обладает рядом существенных преимуществ перед реляционными СУБД при обработке неструктурированных данных. В рамках описываемой системы нормативно-правовые документы представляют собой неделимые информационные единицы, содержащие основную и служебную информацию в произвольных форматах. Такая специфика информационной среды определяет выбор платформы Lotus Notes/Domino в качестве наиболее подходящей.

Функциональным ядром подсистемы автоматического анализа служит интеллектуальный программный агент, написанный на языке программирования Lotus Script (диалект Visual Basic), использующий собственную библиотеку критериев потенциально опасных ситуаций и автономно работающий на той же платформе.

Еще одним преимуществом Lotus Notes/Domino является наличие встроенного веб-сервера, позволяющего использовать протокол HTTP для взаимодействия с пользователями системы. Визуализация схемы связей осуществляется в браузере Microsoft Internet Explorer с использованием технологии VML (Vector Markup Language) [10]. Возможна реализация и любыми другими подобными средствами, например более гибким средством Flash.

Таким образом, автором разработаны методика и реализующая ее система, которые позволят повысить качество принимаемых нормативно-правовых актов и эффективность анализа существующей законодательной базы за счет сокращения количества возможных ошибок и неточностей, связанных с соблюдением закрепленных норм законодательства, и существенного уменьшения времени, затрачиваемого на разработку и экспертную оценку новых законопроектов.

Отличительными особенностями данной системы являются:

- использование элементов искусственного интеллекта при поиске потенциально опасных с точки зрения норм законодательства ситуаций;
- графическое представление окрестности нормативно-правового документа, позволяющее пользова-

телю идентифицировать такие ситуации и лучше понять их специфику.

Применение технологий автоматического анализа и графической интерпретации в исследуемой области – взаимосвязанной структуре нормативно-правовых документов – не имеет аналогов в известных программных продуктах и открытых публикациях, что подтверждено соответствующими патентными исследованиями [11].

Прототип системы анализа и визуализации связей нормативно-правовых документов вызвал заинтересованность со стороны специалистов и руководителей Законодательного собрания Красноярского края. В дальнейшем планируется совершенствование системы в следующих направлениях:

- наращивания функциональных возможностей и доработки интерфейса пользователя;
- расширения возможностей интеллектуального агента в поиске потенциально опасных ситуаций путем применения онтологии соответствующей предметной области.

Библиографические ссылки

1. О состоянии законодательства в Российской Федерации [Электронный ресурс] : докл. Совета Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 2008 г. URL: council.gov.ru/ (дата обращения: 20.02.2011).
2. Методические рекомендации по юридико-техническому оформлению законопроектов [Электронный ресурс] : Письмо Аппарата Гос. Думы Федер. Собрания № вн2-18/490 от 18 нояб. 2003 г. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 20.02.2011).
3. О методических рекомендациях по юридико-техническому оформлению краевых законопроектов [Электронный ресурс] : Постановление Законодат. собр. Краснояр. края № 12-2575П. URL: <http://www.law7.ru> (дата обращения: 20.02.2011).
4. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. М. : Вильямс, 2007.
5. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. И. Лейзерсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн. М. : Вильямс, 2007.
6. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М. : Мир, 1978.
7. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. М. : Мир, 1979.
8. Лекции по теории графов / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. М. : Наука, 1990.
9. IBM – United States [Electronic resource]. URL: <http://www-01.ibm.com/software/lotus/notesanddomino/> (data of visit: 10.01.2011).
10. Vector Markup Language (VML) [Electronic resource]. URL: <http://www.w3.org/TR/NOTE-VML> (data of visit: 10.01.2011).
11. Визуализация взаимосвязей нормативно-правовых документов в виде графа : отчет о пат. исслед. относительно конструкт.-технол. решения / ЗАО «Крепость-Технопарк». Новосибирск, 2009.

М. А. Masyuk

ANALYSIS AND VISUALIZATION SYSTEM OF RELATIONS OF NORMATIVE LEGAL DOCUMENTS IN LEGAL-REFERENCE SYSTEMS

In the article the author considers the present situation in the Russian Federation, resulted from rapid growth of quantity of legislative documents have being passed. The significant part of these laws is of corrective nature; it means that such documents contain references to other certificates. Analysis of a great number of documents with their interrelations is a difficult routine work, requiring the presence of highly skilled specialists. The author proposes a complex approach to improvement of the legal-reference systems and electronic databases by integration into them of the system, realizing visual display of documents, and analysis of correlation for the purpose of their conformity to the norms of lawmaking. Theoretical basis and practical implementation features of the system are introduced in this article as well.

Keywords: normative legal document, analysis, visualization.

© Масюк М. А., 2011

УДК 004.056

В. Г. Миронова, А. А. Шелупанов

АНАЛИЗ ЭТАПОВ ПРЕДПРОЕКТНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрены основные этапы, входящие в первую стадию создания системы защиты персональных данных, которая носит название «Предпроектное обследование».

Ключевые слова: персональные данные, информационная система, модель угроз безопасности персональных данных.

Деятельность большинства организаций связана с использованием при обработке и передаче данных информации о сотрудниках, клиентах, поставщиках и т. д.

Персональные данные (ПДн) – это важная информация о человеке, поэтому для соблюдения прав и свобод граждан РФ государство требует от организаций и физических лиц обеспечить надежную защиту ПДн. Федеральный закон № 152-ФЗ от 27 мая 2006 г. «О персональных данных», вступивший в силу в январе 2007 г., четко определяет понятия «персональные данные», «оператор персональных данных» и «информационная система персональных данных» [1].

Ответственность за обеспечение безопасности ПДн ст. 19 этого закона возлагает на оператора ПДн. Обеспечение безопасности ПДн достигается путем построения адекватной системы защиты персональных данных (СЗПДн), исключающей действия, результат выполнения которых может привести к негативным последствиям для субъекта ПДн.

Рекомендуемыми этапами создания СЗПДн являются:

- а) предпроектное обследование информационной системы персональных данных (ИСПДн):
 - классификация ИСПДн;
 - разработка организационно-распорядительной документации;
 - определение степени исходной защищенности ИСПДн;
 - создание частной модели угроз безопасности ПДн;

- разработка частного технического задания;
- б) проектирование СЗПДн;
- в) ввод в действие СЗПДн.

Остановимся более подробно на этапе предпроектного обследования информационной системы (ИС) персональных данных, являющегося основой для построения адекватной СЗПДн.

Классификацию ИСПДн (рис. 1) необходимо проводить в соответствии с требованиями [2] с учетом следующих исходных данных:

- а) категории обрабатываемых ПДн в ИСПДн:
 - категория 1 – ПДн, касающиеся расовой, национальной принадлежности, политических взглядов, религиозных и философских убеждений, состояния здоровья, интимной жизни;
 - категория 2 – ПДн, позволяющие идентифицировать субъекта ПДн и получить о нем дополнительную информацию, за исключением ПДн, относящихся к категории 1;
 - категория 3 – ПДн, позволяющие идентифицировать субъекта ПДн;
 - категория 4 – обезличенные и (или) общедоступные ПДн;
- б) объема обрабатываемых ПДн (количества субъектов ПДн, ПДн которых обрабатываются в ИС):
 - категория 1 – в ИС одновременно обрабатываются ПДн более чем 100 000 субъектов ПДн или ПДн субъектов ПДн в пределах субъекта РФ или РФ в целом;
 - категория 2 – в ИС одновременно обрабатываются ПДн от 1 000 до 100 000 субъектов ПДн или

ПДн субъектов ПДн, работающих в отрасли экономики РФ, в органе государственной власти, проживающих в пределах муниципального образования;

– категория 3 – в ИС одновременно обрабатываются данные менее чем 1 000 субъектов ПДн или ПДн субъектов ПДн в пределах конкретной организации.

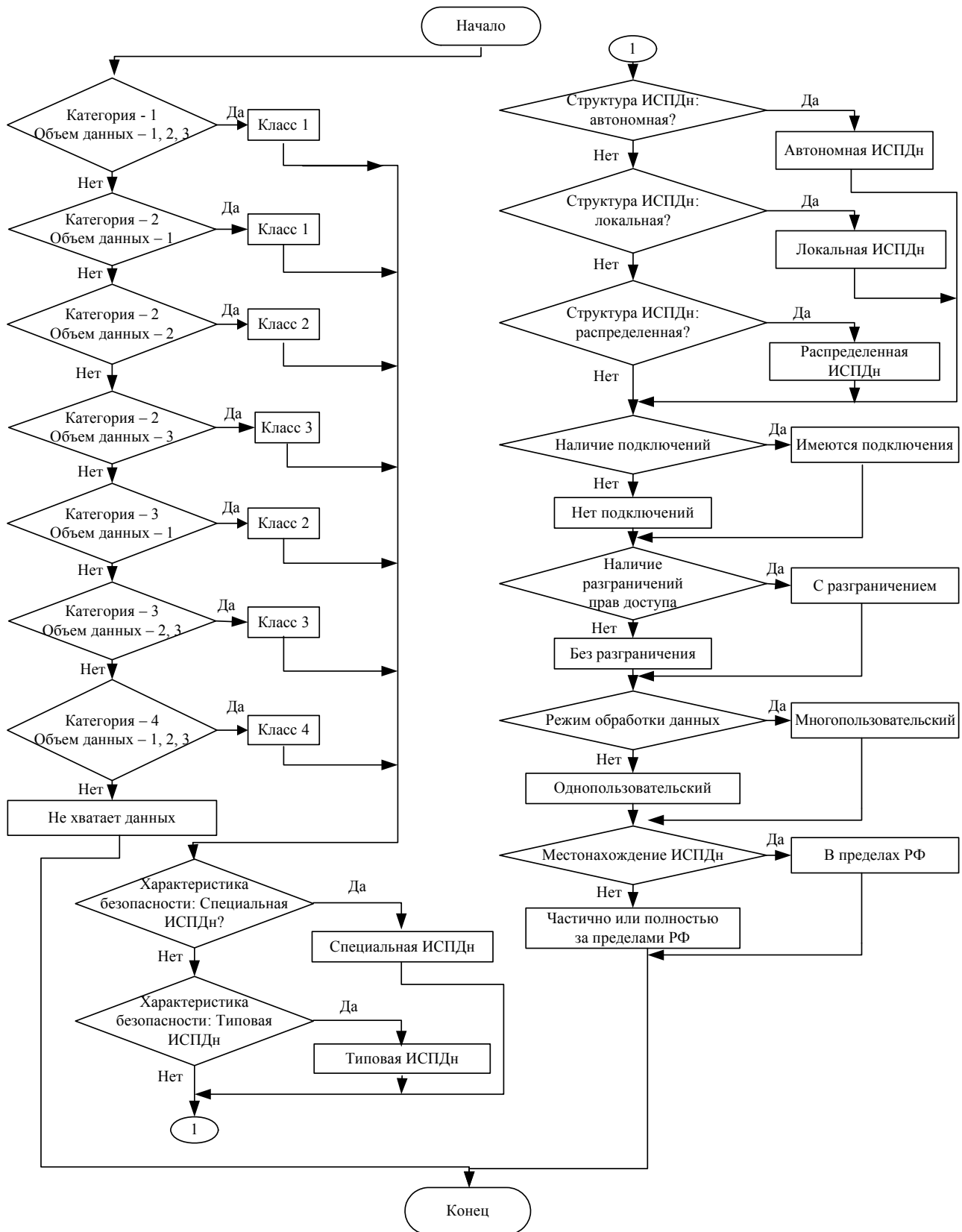


Рис. 1. Алгоритм классификации ИСПДн

В зависимости от категории и объема обрабатываемых ПДн выделяют четыре класса ИСПДн [2], для каждого из которых определены методы и способы защиты информации в информационных системах. К ним относятся:

– методы и способы защиты информации, обрабатываемой техническими средствами ИС, от несанкционированного, в том числе случайного, доступа к ПДн, результатом которого может стать уничтожение, изменение, блокирование, копирование, распространение персональных данных, а также иные несанкционированные действия;

– методы и способы защиты речевой информации, а также информации, представленной в виде информативных электрических сигналов, физических полей, от несанкционированного доступа к ПДн, результатом которого может стать копирование, распространение ПДн, а также иных несанкционированных действий [3].

Методы и способы защиты информации, например, для ИСПДн 3-го класса (однопользовательский режим) могут быть представлены в следующем виде:

– управление доступом: идентификация и проверка подлинности пользователя при входе в систему по идентификатору (коду) и паролю условно-постоянного действия длиной не менее шести буквенно-цифровых символов;

– регистрация и учет: регистрация входа (выхода) пользователя в систему (из системы) либо регистрация загрузки и инициализации операционной системы и ее программного останова. Регистрация выхода из системы или останова не проводится в моменты аппаратного отключения информационной системы. В параметрах регистрации указываются дата и время входа (выхода) пользователя в систему (из системы) или загрузки (останова) системы, результат попытки входа (успешный или неуспешный), учет всех защищаемых носителей информации с помощью их маркировки, занесение учетных данных в журнал учета;

– обеспечение целостности: обеспечение целостности программных средств системы защиты ПДн, обрабатываемой информации, а также неизменность программной среды. Целостность программных средств проверяется при загрузке системы по наличию имен компонентов системы защиты ПДн, а целостность программной среды обеспечивается отсутствием средств разработки и отладки программ во время обработки и (или) хранения ПДн. Физическая охрана предусматривает контроль доступа в помещения, наличие надежных препятствий для несанкционированного проникновения в помещения и хранилище носителей ПДн, периодическое тестирование функций СЗПДн при изменении программной среды и пользователей с помощью тест-программ, наличие средств восстановления СЗПДн, предусматривающих ведение двух копий, их периодическое обновление и контроль. Необходимость в контроле наличия (отсут-

ствия) недеklarированных возможностей программного обеспечения средств защиты информации, применяемых в информационных системах 3-го класса, определяется уполномоченным лицом – оператором ПДн.

Согласно [3], перечисленные выше методы и способы защиты информации для информационных систем 3-го класса представлены в виде рекомендаций. Для того чтобы определить, какие именно методы и способы защиты должны быть реализованы для конкретной ИСПДн, необходимо составление перечня актуальных угроз безопасности ПДн. Актуальность угрозы определяется на основе данные об эксплуатационных и технических характеристиках ИСПДн, а также экспертной оценки опасности каждой угрозы (рис. 2).

Заключительным этапом предпроектного обследования является разработка частного технического задания на построение СЗПДн, в котором отражаются основные требования к СЗПДн и ее характеристикам. При составлении технического задания на создание СЗПДн необходимо руководствоваться результатами, полученными при проведении классификации ИСПДн и построении модели угроз безопасности ПДн.

Таким образом, авторами проведен анализ первого этапа создания СЗПДн – предпроектного обследования, в ходе которого обозначены основные стадии проведения предпроектного обследования ИСПДн: классификация ИСПДн; разработка организационно-распорядительной документации; определение степени исходной защищенности ИСПДн; разработка частной модели угроз безопасности ПДн; разработка частного технического задания. Необходимо отметить, что представленный подход удовлетворяет требованиям законодательства в области защиты ПДн и является основополагающим для построения адекватной СЗПДн.

Библиографические ссылки

1. Автоматизированная система предпроектного обследования информационной системы персональных данных «АИСТ-П» / А. А. Шелупанов, В. Г. Миронова, С. С. Ерохин, А. А. Мицель // Докл. Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники. Томск, 2010. № 1 (21). Ч. 1. С. 14–22.

2. Об утверждении Порядка проведения классификации информационных систем персональных данных [Электронный ресурс] : приказ Федер. службы по техн. и экспорт. контролю, Федер. службы безопасности Рос. Федерации и М-ва информ. технологий и связи Рос. Федерации № 55/86/20 от 13 февр. 2008 г. URL: http://www.fstec.ru/_docs/doc_781.htm.

3. Об утверждении положения о методах и способах защиты информации в информационных системах персональных данных [Электронный ресурс] : приказ Федер. службы по техн. и экспорт. контролю Рос. Федерации № 58 от 5 февр. 2010 г. URL: http://www.fstec.ru/_docs/doc_781.htm.

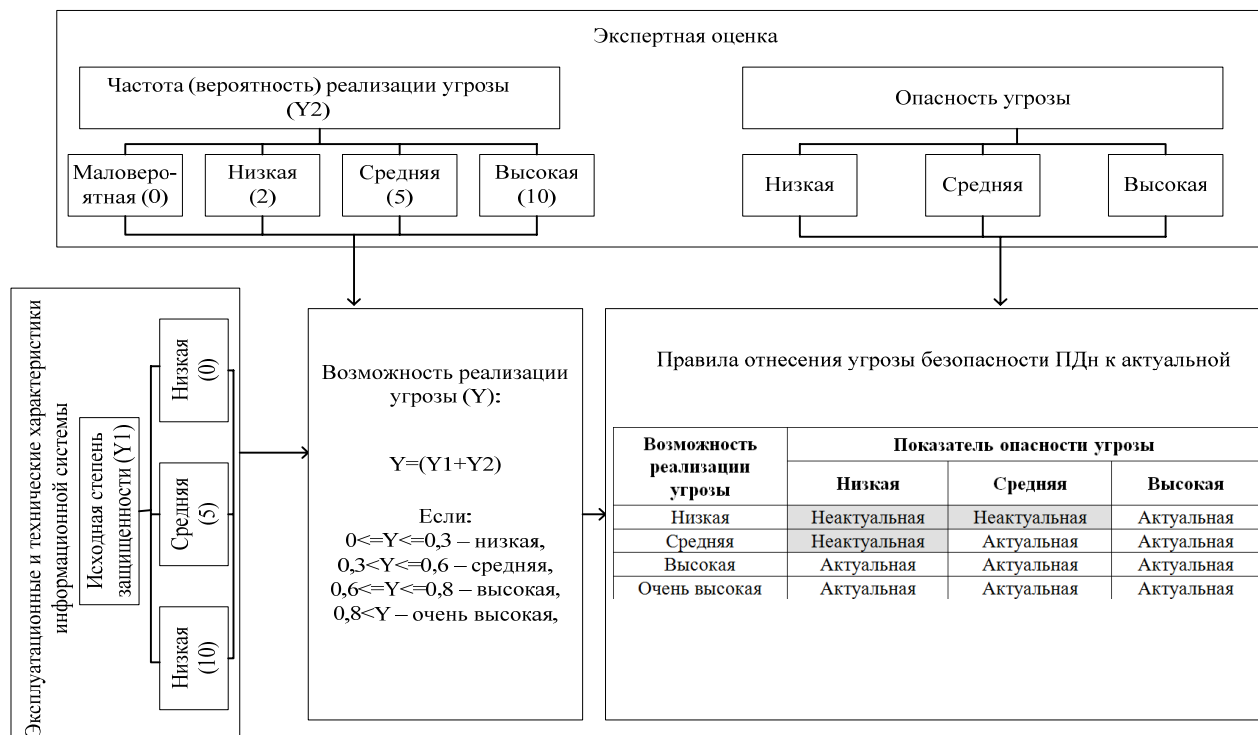


Рис. 2. Схема отнесения к актуальной угрозе безопасности ПДн

V. G. Mironova, A. A. Shelupanov

ANALYSIS OF STAGES PREPROJECT SURVEY INFORMATION SYSTEM OF PERSONAL DATA

This article describes and analyzes the main stages included in the first stage of creation of a system of protection of personal data, which is called "Preproject". The article examines the stages of audit information security for the stage of pre-survey information system of personal data.

Keywords: personal data, audit, information system.

© Миронова В. Г., Шелупанов А. А., 2011

УДК 519.62

В. А. Нестеров

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ РАСЧЕТ ТРЕХСЛОЙНОЙ БАЛКИ

Рассматривается новый конечный элемент балки, в расчетах которой учитывается трансверсальный сдвиг. При этом в каждом из узлов конечного элемента в качестве основных кинематических параметров присутствуют осредненные по толщине углы трансверсального сдвига. Представлены результаты численного исследования, демонстрирующие отсутствие эффекта сдвигового запираания в новой балочной конечно-элементной модели.

Ключевые слова: балка, трансверсальный сдвиг, метод конечных элементов, эффект сдвигового запираания.

В последнее время в авиационной и ракетно-космической отрасли все чаще применяются новые конструкционные материалы, позволяющие изготавливать технику разнообразного назначения с высокими удельными характеристиками. Среди прочих осо-

бое место занимают композиционные материалы. Обладая высокой удельной прочностью и жесткостью, композиты, кроме того, позволяют проектировать конструкции с требуемыми механическими свойствами в зависимости от их назначения и условий экс-

платации. Однако композитные конструкции, в том числе и балки, отличаются рядом особенностей, которые необходимо учитывать при проектировании и расчете. И основная среди них – низкая сдвиговая жесткость по отношению к трансверсальным напряжениям. Учет указанной особенности приводит к повышению порядка разрешающих уравнений за счет введения в рассмотрение углов трансверсального сдвига.

В данной работе представлен новый конечный элемент балки, в расчете которой учитывается трансверсальный сдвиг. При этом рассматривается модель, базирующаяся на математической теории пластин Рейсснера–Миндлина. При выводе основополагающих соотношений теории метода конечных элементов используется вариационный подход, при котором в качестве исходного фигурирует выражение потенциальной энергии деформации конструкции. Для сдвиговой модели балки это выражение имеет вид

$$E = \frac{1}{2} \int_0^l \left(N \frac{du}{dx} + M \frac{d\theta}{dx} + Q\psi \right) dx - \int_0^l q w dx. \quad (1)$$

В выражении (1) фигурируют следующие кинематические параметры: θ – угол наклона сечения, измеряемый в плоскости XZ (рис. 1); u – перемещения точек начальной плоскости вдоль продольной оси балки; w – прогибы точек начальной плоскости; ψ – угол сдвига, или осредненная по высоте сечения деформация трансверсального сдвига, вычисляемая по формуле [1]

$$\psi = \frac{1}{h} \int_{-s}^{h-s} e_{xz} dz,$$

где h – высота сечения балки (толщина балки); $(h-s)$ и $(-s)$ – координаты по высоте верхней и нижней поверхности балки соответственно.

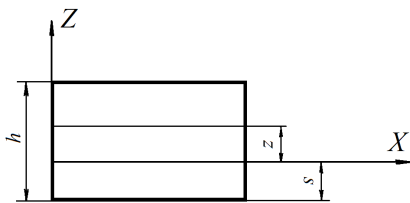


Рис. 1. Система координат в слоистой структуре

Полный угол наклона сечения представляет собой сумму двух слагаемых:

$$\theta = \psi - \frac{dw}{dx}, \quad (2)$$

где dw/dx – угол наклона сечения, происходящий за счет изгиба балки.

В энергетическом функционале (1) присутствуют силовые факторы: q – погонная балочная нагрузка и N, M, Q – внутренние балочные усилия (N – продольная сила; M – изгибающий момент; Q – перерезывающая сила), которые связаны с кинематическими параметрами посредством следующих физических соотношений:

$$N = B \frac{du}{dx} + C \frac{d\theta}{dx}, \quad M = C \frac{du}{dx} + D \frac{d\theta}{dx}, \quad Q = K\psi, \quad (3)$$

где B, C, D и K – жесткостные параметры балки: B определяет жесткость балки при растяжении-сжатии вдоль продольной оси; C – так называемая смешанная жесткость; D – изгибная жесткость; K – жесткость балки при трансверсальном сдвиге.

Получим матрицу жесткости конечного элемента и вектор эквивалентной узловой нагрузки для балки, нагруженной погонной нагрузкой q , для случая низкой трансверсальной сдвиговой жесткости. Будем полагать нагрузку постоянной вдоль одного конечного элемента. В качестве основных узловых неизвестных будем рассматривать прогиб w , изгибной угол наклона сечения, угол трансверсального сдвига и продольное перемещение u (рис. 2).

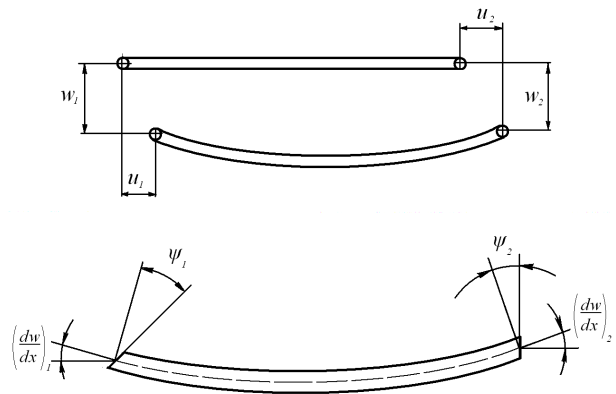


Рис. 2. Узловые параметры балочного конечного элемента

Будем полагать, что прогиб изменяется по кубическому закону вдоль длины элемента, а угол сдвига ψ и продольное перемещение u – по линейному закону:

$$w(x) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 x^2 + \alpha_4 x^3, \quad (4)$$

$$\psi(x) = \alpha_5 + \alpha_6 x, \quad u(x) = \alpha_7 + \alpha_8 x.$$

Основные кинематические параметры в произвольной точке конечного элемента можно выразить через их узловые значения:

$$\delta = \mathbf{P} \delta_e, \quad (5)$$

где

$$\delta = \left\{ w \quad \frac{dw}{dx} \quad \psi \quad u \right\}^T, \quad (6)$$

$$\delta_e = \left\{ w_1 \quad \left(\frac{dw}{dx} \right)_1 \quad \psi_1 \quad u_1 \quad w_2 \quad \left(\frac{dw}{dx} \right)_2 \quad \psi_2 \quad u_2 \right\}^T. \quad (7)$$

Матрица \mathbf{P} имеет следующую структуру:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & 0 & p_{15} & p_{16} & 0 & 0 \\ p_{21} & p_{22} & 0 & 0 & p_{25} & p_{26} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} & 0 & 0 & 0 & p_{37} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_{44} & 0 & 0 & 0 & p_{48} \end{bmatrix}$$

и компоненты

$$\begin{aligned}
 p_{11} &= 1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}, & p_{12} &= x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}, \\
 p_{15} &= 3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3}, & p_{16} &= -\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}, \\
 p_{21} &= -p_{25} = -6\frac{x}{l^2} + 6\frac{x^2}{l^3}, & p_{22} &= 1 - 4\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}, \\
 p_{26} &= -2\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}, & p_{33} &= p_{44} = 1 - \frac{x}{l}, \\
 p_{37} &= p_{48} = \frac{x}{l}.
 \end{aligned}$$

Здесь l – длина балочного элемента.

Запишем матричное выражение (5) в виде следующих соотношений:

$$\begin{aligned}
 w &= \left(1 - 3\frac{x^2}{l^2} + 2\frac{x^3}{l^3}\right)w_1 + \left(x - 2\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)_1 + \\
 &+ \left(3\frac{x^2}{l^2} - 2\frac{x^3}{l^3}\right)w_2 + \left(-\frac{x^2}{l} + \frac{x^3}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)_2, \\
 \frac{dw}{dx} &= \left(-6\frac{x}{l^2} + 6\frac{x^2}{l^3}\right)w_1 + \left(1 - 4\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)_1 + \\
 &+ \left(6\frac{x}{l^2} - 6\frac{x^2}{l^3}\right)w_2 + \left(-2\frac{x}{l} + 3\frac{x^2}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)_2, \\
 \psi &= \left(1 - \frac{x}{l}\right)\psi_1 + \frac{x}{l}\psi_2, & u &= \left(1 - \frac{x}{l}\right)u_1 + \frac{x}{l}u_2.
 \end{aligned} \quad (8)$$

С учетом соотношения углов (2) перепишем физические соотношения (3) в виде

$$\begin{aligned}
 N &= B\frac{du}{dx} + C\left(\frac{d\psi}{dx} - \frac{d^2w}{dx^2}\right), \\
 M &= C\frac{du}{dx} + D\left(\frac{d\psi}{dx} - \frac{d^2w}{dx^2}\right).
 \end{aligned} \quad (9)$$

С помощью (8) вычислим фигурирующие в (9) производные:

$$\begin{aligned}
 \frac{du}{dx} &= \frac{u_2 - u_1}{l}, & \frac{d\psi}{dx} &= \frac{\psi_2 - \psi_1}{l}, \\
 \frac{d^2w}{dx^2} &= \left(-\frac{6}{l^2} + \frac{12x}{l^3}\right)w_1 + \left(-\frac{4}{l} + \frac{6x}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)_1 + \\
 &+ \left(\frac{6}{l^2} - \frac{6x}{l^3}\right)w_2 + \left(-\frac{2}{l} + \frac{6x}{l^2}\right)\left(\frac{dw}{dx}\right)_2.
 \end{aligned} \quad (10)$$

Подставим физические соотношения в перемещениях (9) в выражение полной потенциальной энергии (1), а затем заменим все фигурирующие в нем кинематические переменные (и соответствующие производные) их выражениями через узловые неизвестные (8), (10). Выполним интегрирование по длине конечного элемента балки. Полученную функцию полной потенциальной энергии продифференцируем по каждой из компонент вектора δ_e . В результате получим систему уравнений равновесия произвольного балоч-

ного элемента, которая в матричном представлении имеет следующий вид:

$$\mathbf{K}_e \delta_e = \mathbf{F}_e, \quad (11)$$

где \mathbf{K}_e – матрица жесткости балочного элемента; \mathbf{F}_e – вектор эквивалентных узловых сил.

Матрица жесткости симметрична относительно главной диагонали:

$$\mathbf{K}_e = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 & 0 & k_{15} & k_{16} & 0 & 0 \\ & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & k_{27} & k_{28} \\ & & k_{33} & k_{34} & 0 & k_{36} & k_{37} & k_{38} \\ & & & k_{44} & 0 & k_{46} & k_{47} & k_{48} \\ & & & & k_{55} & k_{56} & 0 & 0 \\ & & & & & k_{66} & k_{67} & k_{68} \\ c & u & m & m & & & k_{77} & k_{78} \\ & & & & & & & k_{88} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где $k_{11} = 12\frac{D}{l^3}$; $k_{12} = 6\frac{D}{l^2}$; $k_{15} = -12\frac{D}{l^3}$; $k_{16} = 6\frac{D}{l^2}$;
 $k_{22} = 4\frac{D}{l}$; $k_{23} = -\frac{D}{l}$; $k_{24} = -\frac{C}{l}$; $k_{25} = -6\frac{D}{l^2}$;
 $k_{26} = 2\frac{D}{l}$; $k_{27} = \frac{D}{l}$; $k_{28} = \frac{C}{l}$; $k_{33} = \frac{D}{l} + \frac{Kl}{3}$; $k_{34} = \frac{C}{l}$;
 $k_{36} = \frac{D}{l}$; $k_{37} = -\frac{D}{l} + \frac{Kl}{6}$; $k_{38} = -\frac{C}{l}$; $k_{44} = \frac{B}{l}$; $k_{46} = \frac{C}{l}$;
 $k_{47} = -\frac{C}{l}$; $k_{48} = -\frac{B}{l}$; $k_{55} = 12\frac{D}{l^3}$; $k_{56} = -6\frac{D}{l^2}$;
 $k_{66} = 4\frac{D}{l}$; $k_{67} = -\frac{D}{l}$; $k_{68} = -\frac{C}{l}$; $k_{77} = \frac{D}{l} + \frac{Kl}{3}$;
 $k_{78} = \frac{C}{l}$; $k_{88} = \frac{B}{l}$.

Вектор эквивалентных узловых сил имеет следующий вид:

$$\mathbf{F}_e = \left\{ \frac{ql}{2} \quad \frac{ql^2}{12} \quad 0 \quad 0 \quad \frac{ql}{2} \quad -\frac{ql^2}{12} \quad 0 \quad 0 \right\}^T. \quad (13)$$

Рассмотрим балку длиной L , разбитую на n конечных элементов (рис. 3). Выделим i -й конечный элемент.

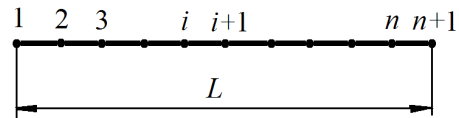


Рис. 3. Конечно-элементная модель балки

Полученная для него по описанной выше процедуре система уравнений равновесия имеет вид

$$\mathbf{K}_e^{(i)} \delta_e^{(i)} = \mathbf{F}_e^{(i)}, \quad (14)$$

где $\delta_e^{(i)}$ – вектор узловых неизвестных i -го элемента, соединяющего i -й и $i + 1$ -й узлы, $\mathbf{K}_e^{(i)}$ и $\mathbf{F}_e^{(i)}$ – матрица

жесткости и вектор эквивалентной узловой нагрузки i -го конечного элемента, определяемые как (12) и (13) соответственно.

Сформируем глобальный вектор узловых неизвестных. Для этого введем в рассмотрение вектор узловых неизвестных i -го узла одномерной КЭ сетки:

$$\delta_i = \left\{ w_i \left(\frac{dw}{dx} \right)_i \psi_i u_i \right\}. \quad (15)$$

Тогда глобальный вектор узловых неизвестных можно представить в виде

$$\Delta = \{ \delta_1 \delta_2 \dots \delta_i \dots \delta_{n+1} \}^T. \quad (16)$$

Чтобы получить глобальную матрицу жесткости и глобальный вектор узловых нагрузок, необходимо записать выражение полной потенциальной энергии для всего ансамбля конечных элементов:

$$E_\Sigma = \sum_{i=1}^n (U_i + \Pi_i). \quad (17)$$

Выражения потенциальной энергии деформации и потенциала внешних сил отдельных элементов получаются по описанной выше процедуре. В результате преобразований получим выражение полной потенциальной энергии балки как функцию от всех узловых неизвестных:

$$E_\Sigma = f \left(w_i \left(\frac{dw}{dx} \right)_i \psi_i u_i \right), \quad (18)$$

$$i = 1, 2, \dots, n+1.$$

Дифференцируя (18) по каждой компоненте глобального вектора неизвестных (16), получим следующую СЛАУ, являющуюся системой уравнений равновесия всей балки:

$$\mathbf{K}_\Sigma \Delta = \mathbf{F}_\Sigma, \quad (19)$$

где \mathbf{K}_Σ – глобальная матрица жесткости балки; \mathbf{F}_Σ – глобальный вектор эквивалентных узловых сил.

Глобальную матрицу жесткости и глобальный вектор нагрузки можно сформировать по более простой процедуре [2]. Для этого матрицу жесткости элемента представим в блочном виде:

$$\mathbf{K}_e = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_I & \mathbf{K}_{II} \\ \mathbf{K}_{III} & \mathbf{K}_{IV} \end{bmatrix}, \quad (20)$$

где $\mathbf{K}_I, \mathbf{K}_{II}, \mathbf{K}_{III}, \mathbf{K}_{IV}$ – подматрицы размером 4×4 – имеют следующее представление:

$$\mathbf{K}_I = \begin{bmatrix} \frac{12D}{l^3} & \frac{6D}{l^2} & 0 & 0 \\ \frac{6D}{l^2} & \frac{4D}{l} & \frac{D}{l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{D}{l} & \frac{2KI^2+6D}{6l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{C}{l} & \frac{C}{l} & \frac{B}{l} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{K}_{II} = \begin{bmatrix} \frac{12D}{l^3} & \frac{6D}{l^2} & 0 & 0 \\ \frac{6D}{l^2} & \frac{2D}{l} & \frac{D}{l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{D}{l} & \frac{KI^2-6D}{6l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{C}{l} & \frac{C}{l} & \frac{B}{l} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{K}_{III} = \begin{bmatrix} \frac{12D}{l^3} & \frac{6D}{l^2} & 0 & 0 \\ \frac{6D}{l^2} & \frac{2D}{l} & \frac{D}{l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{D}{l} & \frac{KI^2-6D}{6l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{C}{l} & \frac{C}{l} & \frac{B}{l} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{K}_{IV} = \begin{bmatrix} \frac{12D}{l^3} & \frac{6D}{l^2} & 0 & 0 \\ \frac{6D}{l^2} & \frac{4D}{l} & \frac{D}{l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{D}{l} & \frac{2KI^2+6D}{6l} & \frac{C}{l} \\ 0 & \frac{C}{l} & \frac{C}{l} & \frac{B}{l} \end{bmatrix}.$$

Тогда глобальную матрицу жесткости однородной балки постоянной жесткости, состоящую из конечных элементов равной длины, можно сформировать следующим образом:

$$\mathbf{K}_\Sigma = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_I & \mathbf{K}_{II} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{K}_{III} & \mathbf{K}_I + \mathbf{K}_{IV} & \mathbf{K}_{II} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{III} & \mathbf{K}_I + \mathbf{K}_{IV} & \mathbf{K}_{II} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{K}_{III} & \mathbf{K}_I + \mathbf{K}_{IV} & \mathbf{K}_{II} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{K}_{III} & \mathbf{K}_I + \mathbf{K}_{IV} & \mathbf{K}_{II} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{K}_{III} & \mathbf{K}_{IV} \end{bmatrix} \quad (21)$$

Здесь под $\mathbf{0}$ следует понимать нулевые матрицы размером 4×4 .

Для удобства интерпретации представлена глобальная матрица жесткости для балки, состоящей из 5 конечных элементов. Глобальный вектор нагрузки в этом случае будет иметь следующий вид:

$$\mathbf{F}_\Sigma = \left\{ \frac{ql}{2} \quad \frac{ql^2}{2} \quad 0 \quad 0 \quad ql \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad ql \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad ql \quad 0 \quad 0 \quad 0 \right\}^T \quad (22)$$

$$\left\{ 0 \quad 0 \quad 0 \quad ql \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \frac{ql}{2} \quad \frac{ql^2}{12} \quad 0 \quad 0 \right\}^T.$$

Следует иметь в виду, что в разрешающей СЛАУ (19) необходимо учесть граничные условия.

Одной из самых распространенных конструкций, в расчетах которых необходимо учитывать трансверсальный сдвиг, является трехслойная оболочка с податливым наполнителем. Рассмотрим модель трехслойной балки (рис. 4). Будем полагать, что жесткость несущих слоев существенно выше жесткости промежуточного слоя. В этом случае можно допустить, что параметры жесткости балки B, C и D обеспечены несущими слоями.

При совпадении начальной плоскости со срединной плоскостью балки и при симметричной структуре слоистого пакета смешанные жесткости (C) равны нулю. Остальные параметры жесткости вычисляются по формулам

$$B = \frac{2E_n b t}{1 - \mu_n^2}, \quad D = \frac{E_n b (H^3 - h^3)}{12(1 - \mu_n^2)}, \quad (23)$$

$$K = H^2 \left/ \left(\frac{2t}{G_n} + \frac{h}{G_3} \right) \right.,$$

где H – полная толщина пакета; h – толщина слоя заполнителя; t – толщина каждого из несущих слоев; b – ширина сечения; E_n – приведенный модуль упругости материала несущих слоев; G_n и G_3 – модули сдвига материалов несущих слоев и заполнителя соответственно.

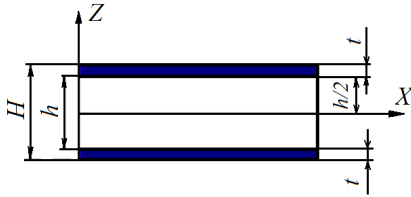


Рис. 4. Трехслойная конструкция

Как известно, в последнее время получила распространение конечно-элементная модель податливых при трансверсальном сдвиге балок, в которой в качестве основных узловых переменных фигурируют продольные перемещения и прогибы точек продольной оси и полный угол поворота сечения (θ). Эта модель с тремя кинематическими параметрами в узле обладает определенным недостатком, который называется эффектом сдвигового запираания (ЭСЗ).

Для того чтобы выяснить, не проявится ли эта же проблема в решениях с использованием нашей КЭ-модели, проведем следующий численный эксперимент. Выполним две серии расчетов для балок различной толщины. В первой серии будет задействована рассматриваемая в данной работе модель с 4 узловыми кинематическими параметрами. Во второй серии нужно использовать конечно-элементную модель, основывающуюся на классической теории оболочек Кирхгофа. В этой классической модели в каждом узле присутствует 3 кинематических переменных: продольное перемещение, прогиб и изгибной угол поворота нормали (dw/dx). Таким образом, вектор узловых неизвестных балочного элемента в данном случае имеет следующий вид:

$$\delta_e = \left\{ w_1 \left(\frac{dw}{dx} \right)_1 u_1 w_2 \left(\frac{dw}{dx} \right)_2 u_2 \right\}^T. \quad (24)$$

Процедура вывода разрешающих уравнений равновесия для одного конечного элемента точно такая же, что описана выше для модели, учитывающей трансверсальный сдвиг. Только во всех выражениях необходимо положить $\psi = 0$, и, следовательно,

$$\theta = -\frac{dw}{dx}.$$

Вариационное уравнение при этом будет иметь вид

$$E = \frac{1}{2} \int_0^l \left(N \frac{du}{dx} - M \frac{d^2w}{dx^2} \right) dx - \int_0^l q w dx. \quad (25)$$

Размерность матрицы жесткости элемента сократится до 6:

$$\mathbf{K}_e = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 & k_{14} & k_{15} & 0 \\ & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ & & k_{33} & 0 & k_{35} & k_{36} \\ & & & k_{44} & k_{45} & 0 \\ & & & & k_{55} & k_{56} \\ c & u & m & m & & k_{66} \end{bmatrix}, \quad (26)$$

где $k_{11} = 12 \frac{D}{l^3}$; $k_{12} = 6 \frac{D}{l^2}$; $k_{14} = -12 \frac{D}{l^3}$; $k_{15} = 6 \frac{D}{l^2}$;
 $k_{22} = 4 \frac{D}{l}$; $k_{23} = -\frac{C}{l}$; $k_{24} = -6 \frac{D}{l^2}$; $k_{25} = 2 \frac{D}{l}$; $k_{26} = \frac{C}{l}$;
 $k_{33} = \frac{B}{l}$; $k_{35} = \frac{C}{l}$; $k_{36} = -\frac{B}{l}$; $k_{44} = 12 \frac{D}{l^3}$; $k_{45} = -6 \frac{D}{l^2}$;
 $k_{55} = 4 \frac{D}{l}$; $k_{56} = -\frac{C}{l}$; $k_{66} = \frac{B}{l}$.

Вектор эквивалентных узловых при этом содержит 6 компонент:

$$\mathbf{F}_e = \left\{ \frac{ql}{2} \quad \frac{ql^2}{12} \quad 0 \quad \frac{ql}{2} \quad -\frac{ql^2}{12} \quad 0 \right\}^T. \quad (27)$$

Рассмотрим трехслойную шарнирно-опертую балку со стальными несущими слоями толщиной в 1 мм каждый и весьма податливым заполнителем ($E_3 = 50$ МПа). Длина балки – 1 м, ширина сечения – 10 мм. С помощью специально разработанной программы [3] выполним серию статических расчетов этой балки при нагрузке равномерно распределенным балочным усилием (q , Н/м). В качестве основного результата будем оценивать прогиб в центре пролета. Будем сравнивать центральные прогибы, полученные для трехслойной балки с различной толщиной слоя заполнителя. Параллельно выполняются расчеты по двух КЭ-моделям: сдвиговой и без учета сдвига (Кирхгофа–Лява). Результаты сведем в таблицу. В первом столбце таблицы указана толщина среднего слоя, которая последовательно уменьшается от 50 мм и практически до нуля. Во втором столбце – величина погонной нагрузки, которую тоже приходится уменьшать, чтобы НДС конструкции всякий раз сохраняло адекватность линейной теории. Результаты расчетов по основной сдвиговой модели – в пятом столбце (жирно выделены). Прогибы, вычисленные по модели Кирхгофа–Лява – в третьем столбце, а в четвертом столбце – относительная разница прогибов, определенных по этим двум моделям. Эти данные наглядно демонстрируют, что по мере уменьшения толщины слоя заполнителя результаты решения с использованием сдвиговой модели приближаются к результатам, полученным на основе классического решения, что свидетельствует об отсутствии ЭСЗ в разработанной КЭ-модели. Эти же результаты лишней раз подчеркивают необходимость применения сдвиговой модели для расчета конструкций, весьма податливых при трансверсальном сдвиге.

Центральные прогибы трехслойной шарнирно-опертой балки

h , мм	Нагрузка, q , Н/м	Прогиб в модели Кирхгофа–Лява, w_1 , мм	Δ (w_1, w_2), %	Прогиб в основной сдвиговой модели, w_2 , мм	Δ (w_2, w_3), %	Прогиб во второй сдвиговой модели, w_3 , мм
50	1000	4,767	71,60	16,786	5,84	17,767
40	500	3,688	66,65	11,057	6,84	11,813
30	500	6,450	59,61	15,971	8,21	17,283
20	200	5,620	48,87	10,992	10,26	12,120
10	100	10,220	30,64	14,735	13,47	16,720
5	10	3,413	16,27	4,076	15,63	4,713
3	5	3,796	9,32	4,186	16,58	4,880
1	1	2,862	2,45	2,934	19,70	3,512
0,5	0,5	2,400	1,07	2,426	25,72	3,050
0,1	0,2	1,607	0,19	1,610	80,56	2,907
0,05	0,2	1,727	0,12	1,729	145,05	4,237
0,01	0,2	1,8322	0,03	1,8328	709,61	14,832

Иногда в тех случаях, когда жесткость несущих слоев существенно выше жесткости слоя заполнителя, используется сдвиговая модель, в которой при определении коэффициента трансверсальной сдвиговой жесткости не учитывается вклад несущих слоев, и для вычисления этого параметра используется формула

$$K = G_3 h \quad (28)$$

Результаты расчетов, выполненных по этой сдвиговой модели, помещены в последнем столбце таблицы. В предпоследнем столбце даны отклонения этих результатов от прогибов, полученных с применением основной сдвиговой модели. Эти данные свидетельствуют о том, что обе сдвиговые модели дают примерно одинаковые решения для трехслоек с относительно толстым слоем заполнителя. По мере уменьшения толщины среднего слоя результаты двух решений начинают расходиться, достигая существенных величин ($\approx 20\%$) в том случае, когда толщина этого слоя (заполнителя) становится сопоставимой с толщиной несущих слоев. Если толщина промежуточного слоя заметно меньше толщины несущих слоев, то, как видно из приведенных данных, нельзя пользоваться формулой (28) для определения сдвиговой трансверсальной жесткости трехслойных конструкций.

Итак, разработана конечно-элементная модель балки, податливой при трансверсальном сдвиге. Разрешающие уравнения теории МКЭ получены вариационным способом. Вектор узловых неизвестных содержит 4 независимых кинематических параметра,

включая осредненный по высоте сечения угол трансверсального сдвига. В результате численного эксперимента на примерах расчетов трехслойной балки показано, что в КЭ-модели с полным набором узловых кинематических параметров отсутствует эффект сдвигового запирания. Выполнено сравнение результатов расчета трехслойных балок по двум сдвиговым моделям. Определены границы применимости упрощенной формулы для коэффициента трансверсальной сдвиговой жесткости.

Библиографические ссылки

1. Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов. М. : Машиностроение, 1988.
2. Комплекс программ для получения основных матриц и векторов теории МКЭ для конечных элементов балки, пластины и оболочки, податливых при трансверсальном сдвиге : программа для ЭВМ : свидетельство о гос. регистрации № 2010611594 от 26.02.2010 / Нестеров В. А. № 2009617627 ; заявл. 31.12.2009.
3. Исследование НДС, устойчивости и собственных колебаний трехслойной балки с податливым заполнителем с помощью МКЭ при учете трансверсального сдвига в качестве узлового неизвестного: программа для ЭВМ : свидетельство о гос. регистрации № 2010611781 от 09.03.2010 / Нестеров В. А. № 2010610178 ; заявл. 18.01.2010.

V. A. Nesterov

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SANDWICH BEAM

The author considers a new finite element of a beam with low value of transverse shear stiffness. As the basic kinematic variables transverse shear strains are appointed. Results of numerical analysis showing urgency of the model are presented.

Keywords: beam, finite element method, transverse shear strains.

© Нестеров В. А., 2011

**ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ ГАРАНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ВКЛЮЧЕНИЯ
ВЫЖИВАЮЩИХ ТРАЕКТОРИЙ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ**

Описано применение гарантированных методов, позволяющих получать границы траекторий управляемых динамических систем, сохраняющихся (выживающих) до некоторого момента времени в пределах заданного множества. Такие количественные оценки являются границами множеств достижимости, удовлетворяющими условиям выживаемости. Приведены примеры расчетов границ выживающих траекторий.

Ключевые слова: гарантированные границы множеств достижимости, выживающие траектории.

Рассмотрим систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), в которую входят члены, описывающие параметрические возмущения, или неточности задания коэффициентов системы. Известны лишь границы, в которых они могут лежать. Среди математических описаний подобных задач можно выделить задачи проверки гарантированных условий безопасности и задачи построения множеств достижимости, т. е. задачи выживания (термин взят из [1]).

Задачи выживания для управляемых динамических систем включают в себя большое число вполне конкретных приложений, интерес к которым не ослабевает с конца 50-х гг. прошлого столетия. К числу таких прикладных задач относятся задачи об обходе препятствия, о построении управления, удерживающего траектории системы в заранее заданном множестве, в частности на заданном многообразии, некоторые задачи математической экономики и многое другое.

Поведение управляемого объекта выражается системой дифференциальных уравнений

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y, u), \quad u \in P, \quad t \in [t_0, \theta], \quad t_0 < \theta < \infty, \quad (1)$$

где y – m -мерный вектор системы; u – управление; P – компакт в евклидовом пространстве R^k . При этом предполагается, что выполнены следующие условия:

– функция $f(t, y, u)$ непрерывна по совокупности переменных в $I \times R^m \times P$, а для любой ограниченной замкнутой области $D \subset R^m$ существует постоянная $L = L(D) \in (0, \infty)$, такая что

$$\|f(t, y_*, u) - f(t, y^*, u)\| \leq L \|y_* - y^*\| \\ \forall (t, y_*, u), (t, y^*, u) \in I \times D \times P;$$

– существует постоянная $\mu \in (0, \infty)$, такая что

$$\|f(t, y, u)\| \leq \mu(1 + \|y\|) \quad \forall (t, y, u) \in I \times R^m \times P.$$

Допустимое управление $u(t)$ – измеримая по Лебегу функция, удовлетворяющая включению $u(t) \in P, t \in I$.

Решением уравнения (1), порожденным допустимым управлением, является абсолютно непрерывная

функция $y(t), t \in I$, такая что $\frac{dy}{dt} = f(t, y(t), u(t))$ почти всюду на I .

Множество достижимости $Y^*(t)$ определяется как множество всех точек из фазового пространства, в которые можно перейти на отрезке времени $[t^0, T]$ из всех точек начального множества фазовых состояний M^0 по решениям системы (1) с начальным условием $y(t^0) \in M^0$ и с допустимым управлением $u(t)$. Точное или приближенное описание множества достижимости управляемой системы позволяет оценить предельные возможности системы управления и выбрать оптимальное управление [2–6].

Включением (гарантированной оценкой) множества достижимости ОДУ $Y^*(t)$ называется многозначная функция $Y(t)$, такая что для любого $y(t^0) \in M^0$ и $t \in [t^0, T]$ решение $y(t, y^0) \in Y(t)$. Выбор возможных реализаций управляющих воздействий u стеснен ограничениями $u \in Q, t \in [t^0, T]$, отражающими особенности рассматриваемой задачи. Для многих задач ограничения на воздействия могут носить только геометрический характер. Это значит, что в каждый момент времени $t \in [t^0, T]$ значение $u(t)$ может быть любым из некоторого выпуклого компактного множества Q . Задача гарантированного оценивания состоит в определении множества (или его границ)

$$Y(t) \supseteq \bigcup_{y^0 \in Y^0} y(t, t^0, y^0). \quad (2)$$

Чтобы выделить выживающую траекторию $y(t) \in N$ при $t_0 \leq t \leq \eta$, необходимо контролировать выполнение включения $Y(\eta) \in M$ для любого движения $y(\cdot)$, исходящего из точек области допустимых начальных позиций Y^0 и заданных множествах N, M при переборе всех управляющих воздействий, удовлетворяющих ограничению $u \in Q$ [6]. Таким образом предполагается, что неопределенные факторы в математической модели управляемой системы не имеют вероятностного описания, а известны лишь с точностью до множеств, их содержащих. Одной из основ-

ных проблем теории управления, т. е. оценивания в условиях неопределенности, является проблема нахождения информационных множеств неопределенных динамических систем (2), а также подмножеств указанного семейства, состоящих из всех траекторий, удовлетворяющих дополнительному условию выживаемости. Таким образом, задача гарантированного оценивания состоит в описании множества решений системы (2) (траекторного пучка) и соответствующих сечений в момент времени t (сечений этого множества).

Выполнение гарантированных методов, основанных на аппроксимации оператора сдвига вдоль траектории [7–14], разделено на два этапа: предиктор и корректор.

На первом этапе (предикторе) происходит построение (запись) символьных формул приближенных решений как векторных функций $S^n(Y^0) \circ S^{n-1}(Y^0) \circ \dots \circ S^1(Y^0)$, где вектор Y^0 – вектор начальных значений, рассматриваемых как символьные величины. Затем вычисляется область значений S_y этой формулы.

На втором этапе (корректоре) определяется гарантированная оценка глобальной ошибки приближенного решения $R(Y^0, t)$.

Выполнение преобразований над символьными формулами является началом построения гарантированных границ решений задачи, после которого нужно провести числовые расчеты. Некоторые системы компьютерной алгебры позволяют исходя из построенных формул генерировать программы на подходящем для таких расчетов языке программирования. Однако получаемые формулы, как правило, являются громоздкими и непосредственные вычисления с их помощью неэкономны, особенно если речь идет о вычислениях в цикле. Кроме того, предоставляемая системами компьютерной алгебры возможность проводить вычисления с числами большой разрядности делает арифметические операции дорогими, так что проблема экономии вычислений стоит в этом случае еще более остро.

Используя последовательные подстановки и приведение подобных членов, символьную формулу можно преобразовать в выражение, зависящее только от Y^0 . При этом затраты памяти для хранения получающихся символьных формул будут крайне высокими.

Поэтому в общем случае для гарантированных методов предлагается алгоритм вычислений (преобразований и вычислений) символьных формул, основанный на поэтапном статичном хранении информации и ее преобразовании на завершающем этапе алгоритма. Таким образом, формула будет представлять рекурсивную структуру, размер которой изменяется. Для записи такой формулы в компьютере используются линейные динамические структуры. В силу этого модель вычислений (преобразований и вычислений) символьных формул осуществляется без явного вы-

писывания суперпозиций компонентов формулы, определяемых на каждом шаге. Связь между этими компонентами определяется посредством задания механизма адресации. Ссылки на адреса различных уровней хранятся в стековой памяти в виде дерева. Генерация кода вычислений по символьной формуле осуществляется в процессе обхода этого дерева, начиная с вершин.

В алгоритме получения символьных формул

$$Y^n = F^n(t^0, \dots, t^n, Y^0, Y^1, \dots, Y^n) = S^n(Y^0) \circ \dots \circ S^2(Y^{i-1}) \circ S^1(Y^i)$$

используется приведенная ниже методика обработки последовательности символьных формул. Пусть $\varphi(y^0)$ – это однозначное отображение единичного интервала из R^1 на гиперкуб из R^n , которое каждой точке $t \in R$ сопоставляет точку $y = \varphi(t)$. При помощи такого отображения можно построить алгоритм исполнения, который для каждой точки $t \in R$ позволяет определить формулу отображения $F(Y_1^0, Y_2^0, \dots, Y_n^0)$ и процесс ее сборки по адресам. Для этого в качестве отображения $\varphi(y^0)$ предлагается использовать непрерывное, однозначное отображение единичного интервала на n -мерный куб, известное также под названием *кривой Пеано*, заполняющей пространство. Фактически кривая Пеано представляет собой непрерывную, нигде не дифференцируемую кривую, которая проходит через все точки единичного гиперкуба в пространстве R^n . Изобразить кривую Пеано нельзя, можно лишь дать последовательность кривых, которая в пределе сходится к ней [15]. Каждая такая кривая называется *приближением кривой Пеано* и имеет номер, определяющий ее номер в последовательности кривых.

Таким образом, $2m$ -приближение можно рассматривать как некоторую аппроксимацию m -функции в рекурсивной формуле. Это соответствие задано отображением элементов конечного множества отрезков из единичного интервала и элементами конечного множества гиперкубов, входящих в R^n .

Такое соответствие строится следующим образом. Гиперкуб разбивается на 2^n гиперкубов, называемых *квантами первого разбиения*. Длина ребра каждого такого кванта равна $1/2$, кванты нумеруются индексом i_1 от $2^n - 1$ так, чтобы номера квантов, имеющих общую грань, отличались на 1. Кванты первого разбиения будем обозначать через $r(i_1)$, $i_1 = 2^n - 1$.

Каждый квант первого разбиения таким же образом, как и гиперкуб в R^n , разбивается на кванты второго разбиения с длиной ребра $1/4$, которые нумеруются по тому же принципу, что и кванты первого разбиения. При этом нулевой квант второго разбиения, входящий в r_{i_1} , должен иметь общую грань с $(2^n - 1)$ -м

квантом второго разбиения, входящим в квант $r(i_1 - 1)$. Кванты второго разбиения обозначим через $r(i_1, i_2)$, где i_2 – номер кванта второго разбиения, входящего в квант $r(i_1)$.

Аналогично получаем кванты любого разбиения с номером $r(i_1, i_2, \dots, i_m)$, $0 \leq i_j \leq 2^n$. Способ соединения между собой квантов, номера которых отличаются на 1 в лексикографическом порядке, лежит в основе алгоритма, связывающего адреса, по которым хранятся компоненты символьной формулы.

Совокупность гиперкубов в пространстве R^n , рекурсивно квантованных m раз, носит название *дискретного пространства m разбиения* и обозначается G_m^n . Если в каждом разбиении число частей, на которые делится квант предыдущего разбиения, выбрать равным 2^n , то при любом m количество квантов в G_m^1 и G_m^n совпадет. Кванты m -разбиения G_m^1 , полученные из одного кванта $(m - 1)$ -го разбиения, нумеруются слева направо индексом i_m , $0 \leq i_m \leq 2^n$ и обозначаются $q(i_1, i_2, \dots, i_m)$. Сопоставив кванты G_m^1 и G_m^n с одинаковыми наборами индексов i_1, i_2, \dots, i_m , получим взаимно однозначное отображение $\phi_m: R_m^1 \rightarrow R_m^n$, для отдельных квантов $\phi_m(q(i_1, i_2, \dots, i_m))$. Отображение ϕ_m можно также интерпретировать как соответствие между равноотстоящими точками из R^1 (центрами квантов m -разбиения) и узлами равномерной прямоугольной решетки в R^n , где каждый узел также является центром кванта m -разбиения. Итогом работы описанного алгоритма будет возможность в любой точке t^k построить символьную формулу решения и получить на основе этой формулы численные значения решений.

Приведем примеры расчетов границ выживающих траекторий.

Первый пример – определение области при противоаварийном управлении.

При больших возмущениях в электроэнергетических системах (ЭЭС) возникают электромеханические переходные процессы, характеризующиеся взаимными движениями роторов синхронных машин в этих системах, существенными изменениями напряжений в узлах и токов в элементах ЭЭС. С электромеханическими переходными процессами связана проблема динамической устойчивости. Если динамическая устойчивость не нарушается, то в процессе электромеханических колебаний взаимные движения роторов синхронных машин происходят в некоторой ограниченной области. При нарушении динамической устойчивости разности углов, определяющих пространственное положение роторов синхронных машин, неограниченно возрастают. При развитии аварийных ситуаций в сложных ЭЭС имеют место длительные переходные процессы, связанные с отклонениями частот в отдельных частях этих систем. В случае не-

благоприятного развития таких ситуаций эти отклонения могут оказаться недопустимыми по условиям работы оборудования системы и потребителей. Подобные процессы часто происходят при системных авариях. С ними связано понятие живучести ЭЭС, определяемой как свойство системы противостоять возмущениям, не допуская их каскадного развития с массовым нарушением питания потребителей. При исследовании электромеханических переходных процессов система дифференциальных уравнений, описывающих динамику состояний ЭЭС, включает в себя уравнения следующих динамических элементов системы: движения роторов синхронных и асинхронных машин; электромагнитных переходных процессов в обмотках роторов: динамики регуляторов возбуждения и скорости синхронных машин; динамики регуляторов возбуждения и скорости синхронных машин; динамики регуляторов выпрямительных нагрузок и электропередач постоянного тока.

Границы множества решений в простейшей модели энергосистемы «станции – шины бесконечной мощности» [16] вычислялись при постоянно действующих возмущениях

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= -16,52(y_2 + 1,134)\sin(y_1 + 1,256) + \\ &\quad + 2,161\sin 2(y_1 + 1,256) + 16,05, \\ \frac{dy_3}{dt} &= -0,257y_3 + 0,0674\cos(y_1 + 1,256) + \\ &\quad + 0,19u + 0,0235538. \end{aligned}$$

Результаты расчета приведены ниже (рис. 1).

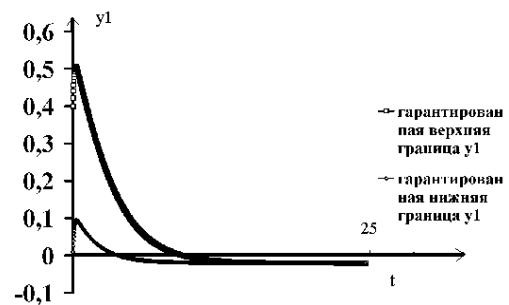


Рис. 1

Второй пример – расчет двойного маятника с общей управляемой точкой подвеса:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= -y_1 + y_2 + u, \\ \frac{dy_3}{dt} &= y_4, \\ \frac{dy_4}{dt} &= y_1 - y_2 - w, \end{aligned}$$

Этот маятник можно рассматривать как систему из двух тел единичной массы, соединенных пружиной с единичным коэффициентом упругости и скользящих без трения вдоль неподвижного горизонтального стержня. Уравнения модели совпадают с линеаризованными уравнениями, описывающими поведение двойного маятника.

Управляющее воздействие $u \in R$ прикладывается к левому телу для компенсации влияния внешних возмущений $w \in R$, действующих на правое тело. Возмущения предполагаются произвольными, но ограниченными в любой момент времени: $|w(t)| \leq 1$.

Обозначим через y_1, y_2 координату и скорость левого тела, а через y_3, y_4 – координату и скорость пра-

вого тела. Тогда $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix} \in R^4$ является вектором фа-

зового состояния данной динамической системы, полностью описывающей движение двойного маятника. В качестве выхода возьмем вектор $\begin{pmatrix} y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$, харак-

теризующийся величиной управления и координатой второго тела, на которой действуют внешние возмущения. Полученные в результате расчета включения множеств точных решений компоненты y_2, y_3 представим в графическом виде (рис. 2).

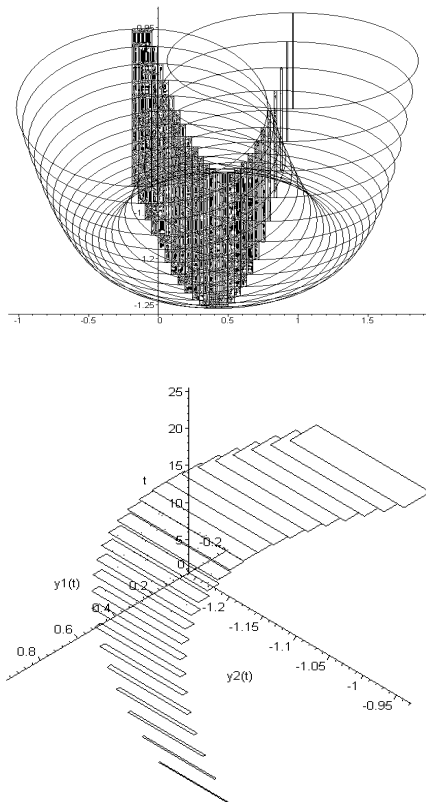


Рис. 2

Таким образом, результаты применения методов, основанных на аппроксимации оператора сдвига вдоль траектории, дают хорошие оценки множеств решений, отклонение которых от точных решений стремится к нулю при уменьшении шага сетки.

Библиографические ссылки

1. Aubin J.-P. Viability theory. Boston ; Basel ; Berlin : Birkhauser, 1991.
2. Куржанский А. Б., Филиппова Т. Ф. Дифференциальные включения с фазовыми ограничениями. Метод возмущений // Оптимальное управление и дифференциальные уравнения : тр. Мат. ин-та Рос. акад. наук. М., 1995. Т. 211. С. 304–315.
3. Незнахин А. А., Ушаков В. Н. Сеточный метод построения ядра выживаемости для дифференциального включения // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 2001. Т. 41, № 6. С. 895–898.
4. Незнахин А. А. О построении ядра выживаемости для обобщенной динамической системы // Прикл. математика и механика. 2006. Т. 70, № 5. С. 781–790.
5. Незнахин А. А., Ушаков В. Н. О построении ядра выживаемости для нелинейной управляемой системы при наличии целевого множества // Прикл. математика и механика. 2005. Т. 69, № 6. С. 976–985.
6. Куржанский А. Б., Филиппова Т. Ф. Об описании пучка выживающих траекторий управляемой системы // Дифференц. уравнения. 1987. Т. 23, № 8. С. 1303–1315.
7. Новиков В. А., Рогалев А. Н. Построение сходящихся верхних и нижних оценок решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1993. Т. 33, № 2. С. 219–231.
8. Рогалев А. Н. Исследование практической устойчивости при постоянно действующих возмущениях // Вычисл. технологии. 2002. Т. 7, № 5. С. 148–150.
9. Рогалев А. Н. Гарантированные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений на основе преобразования символьных формул // Вычисл. технологии. 2003. Т. 8, № 5. С. 102–116.
10. Рогалев А. Н. Гарантированные оценки безопасного функционирования технических и электроэнергетических систем // Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф : тр. Всерос. конф. с междунар. участием / Ин-т вычисл. моделирования Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. Красноярск, 2003. С. 42–48.
11. Рогалев А. Н. Границы множеств решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений с интервальными начальными данными // Вычисл. технологии. 2004. Т. 9, № 1. С. 86–93.
12. Рогалев А. Н. Символьные вычисления в гарантированных методах, выполненные на нескольких процессорах // Вестник НГУ. Серия : Информационные технологии. 2006. Т. 4, № 1. С. 56–62.
13. Рогалев А. Н. Вопросы устойчивости ансамблей дифференциальных уравнений // Вычисл. технологии. 2008. Т. 13, № 3. С. 111–117.

14. Rogalyov A. N. Computation of reachable sets guaranteed bounds // Control, Diagnostics, and Automation (ACIT-CDA-2010) : Proc. of the IASTED Intern. Conf. on Automation, Control, and Inform. Technology. Calgary, Canada, 2010. P. 132–139.

15. Вирт Н. Алгоритмы + структуры данных = программы. М. : Мир, 1985.

16. Руденко Ю. И., Ушаков И. А. К вопросу оценки живучести сложных систем энергетики // Изв. АН СССР. Серия : Энергетика и транспорт. 1979. № 1. С. 14–19.

A. N. Rogalyov

IMPLEMENTATION OF CONTRIBUTED METHODS OF CONTAINMENT OF VIABLE TRAJECTORIES OF CONTROLLED SYSTEMS

The article describes implementation of contributed methods, which give the bounds of the trajectory of controlled systems, remaining (viable) to a certain time within a given set. Such quantitative estimations are bounds of reachable sets, satisfying the conditions of survival. Examples of computations of surviving trajectories bounds are presented.

Keywords: guaranteed bounds of the reachable sets, viable trajectories.

© Рогалев А. Н., 2011

УДК 551.510.534

Т. В. Рублева, В. Б. Кашкин, В. М. Мясников, С. А. Селиверстов

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯРНОГО СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА ЮЖНОГО ПОЛУШАРИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ (АППАРАТУРА TOMS, OMI)

Рассмотрены пространственно-временные особенности весенней озоновой аномалии в Антарктиде (озоновой дыры). На основе спутниковых данных и с помощью корреляционно-экстремального алгоритма рассчитаны зональные скорости масс озона в южной полярной стратосфере. Приведены результаты расчетов площади озоновой дыры для области, где общее содержание озона (ОСО) меньше 220 единиц Добсона, и дефицита массы озона в стратосфере над Антарктидой. Обнаружена тесная связь дефицита массы озона в озоновой дыре и зональной скорости области накопления общего содержания озона в циркумполярном вихре за 1996–2009 гг.

Ключевые слова: истощение озонового слоя, динамика нижней стратосферы.

Исследование вариаций параметров озоносферы и поиски физических причин этих изменений до настоящего времени остаются проблемой, актуальность которой определяется существенной ролью озона в сложной системе «Солнце – атмосфера – поверхность Земли – космос». Поглощая ИК-излучение Земли в полосе 9,57 мкм, озон вносит вклад в изменение температуры атмосферных слоев, а поглощая УФ-излучение Солнца в диапазоне 200...320 нм, он влияет на температурную стратификацию стратосферы, регулируя в этом слое планетарные тепловые и циркуляционные процессы.

С экологической точки зрения наиболее важен стратосферный озон, максимальная концентрация которого приходится на область высот 16...25 км (нижнюю стратосферу). Если собрать весь озон в слой вблизи поверхности Земли при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 0 °С, то толщина этого слоя, т. е. общее содержание озона (ОСО), составит всего около 3 мм, или 300 единиц Добсона (ЕД) (1 ЕД = 10⁻⁵ м).

Несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических исследований причины уменьшения общего содержания озона до сих пор не известны. По оценкам [1], до введения запрета на

производство озоноразрушающих веществ озоновый слой в северном полушарии истощался на 3,4 % за 10 лет, в Южном – на 4,8 %. После введения этого запрета в северном полушарии наблюдается уменьшение озона на 2,9 %, а в южном – на 1,0 %. Погрешность оценки скорости деградации ОСО не превышает 0,02 % за десятилетие. Эти оценки свидетельствуют о том, что уменьшение озонового слоя над северным полушарием происходит быстрее, чем над южным.

Проблема истощения озонового слоя обратила внимание на существующие межполушарные различия в сезонном ходе полярного стратосферного озона, особенно в весенний период [2]. Так, весной в северном полушарии ОСО снижается с 420 до 340 ЕД, а в южном – с 360 до 200 ЕД (рис. 1). Различия в значениях ОСО обусловлены особенностями циркуляционных процессов нижней стратосферы, а также климатическими изменениями в этих регионах.

Для Арктики характерна наибольшая межгодовая и внутрисезонная изменчивость суммарного озона. Сильное и устойчивое уменьшение ОСО в этом регионе началось в конце 1980-х гг., продолжалось до 1998 г. и сменилось периодом колебаний озона. Наи-

большие потери общего содержания озона – до 60...70 % по сравнению с многолетними средними значениями – обнаружены в холодные сезоны 1995/1996, 1999/2000, 2004/2005 гг. [3]. Убыль ОСО на 15...30 % по сравнению с климатической нормой выявлена в теплые зимы 2006/2007, 2007/2008 гг. [4]. Следовательно, уменьшение северного полярного озона в наибольшей степени зависит от метеорологических условий стратосферы, в том числе от изменения температуры внутри полярного вихря.

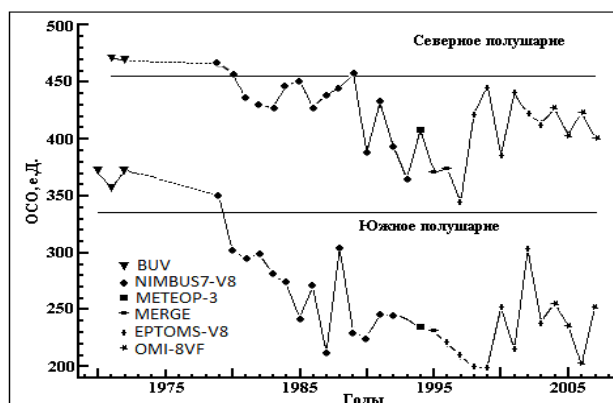


Рис. 1. Межгодовая изменчивость ОСО в полярных широтах по наземным и спутниковым измерениям в весенний период (для северного полушария – в марте, для южного – в сентябре): горизонтальные отрезки соответствуют климатической норме для полярных зон (среднему ОСО до 1983 г.)

В южной полярной области снижение весеннего максимума ОСО обнаружено Г. М. Добсоном в 1957 г. [5]. После 1970 г. наблюдалось несколько случаев, когда ежедневные значения X были ниже климатической нормы, т. е. 220 ЕД. В 1980-е гг. дефицит озона, достигавший 50...70 %, регулярно регистрировался на южнополярных антарктических станциях и метеонаблюдениях. В широтной области 70–90° ю. ш. над Антарктидой было обнаружено устойчивое понижение общего содержания озона в весенний период ниже 220 ЕД, названное *озоновой дырой*, или *весенней озоновой аномалией в Антарктиде* (ВОАА) [6; 7]. В стратосфере Арктики явление подобных масштабов не наблюдается. За годы исследований ВОАА:

- был выявлен период ежегодного существования аномальной области – с конца августа (после окончания полярной ночи) до декабря (3–3,5 месяца);
- установлены высоты падения концентрации озона на 95...97 % – 14...22 км;
- обнаружена тесная статистическая связь между уменьшением ОСО и понижением температуры T нижней стратосферы с коэффициентом корреляции $> 0,9$;
- показано, что убыль суммарного озона происходит при условии выхолаживания стратосферы (до -90 °С и менее).

К настоящему времени выдвинуты несколько теорий и гипотез о химических и динамических механизмах образования озоновой дыры. К сожалению, дальнейшие исследования ВОАА в основном были направлены на доказательство ее антропогенного

происхождения, т. е. фреонно-гетерогенной гипотезы, согласно которой основными факторами формирования антарктического минимума ОСО являются воздействия продуктов хлорфторуглеродов и гетерогенных реакций на поверхности частиц полярных стратосферных облаков (ПСО) [6]. Впоследствии в качестве дополнительного фактора был признан устойчивый циркумполярный вихрь (ЦВ) – кольцевая область с аномально высоким количеством озона [8]. Таким образом, было установлено, что вариации озонового слоя в южном полушарии не только имеют фотохимическую природу, но и обусловлены воздействием динамических факторов.

Целью данной работы является исследование пространственно-временных изменений аномального явления озоновой дыры в южной полярной стратосфере и ее взаимосвязи с циркумполярным вихрем, при этом весенняя озоновая аномалия в Антарктиде рассматривается как сложная циклоническая система, объединяющая две области: циркумполярный вихрь и собственно озоновую дыру, которые обладают различными пространственно-временными характеристиками.

В качестве исходных данных использовались результаты измерений общего содержания озона, сформированные на основе объединения данных спутниковой аппаратуры TOMS (версия V7, V8) и OMI за 1981–2009 гг. [9]. Данные об ОСО охватывают область 89,5° ю. ш. – 89,5° с. ш. и 179,375° з. д. – 179,375° в. д. Ежедневные данные для TOMS представлены на сетке с пространственным разрешением 1° по широте и 1,25° по долготе, для OMI – 1° и 1° соответственно. Разность отклонений между V7 и V8 для области 70° с. ш. – 70° ю. ш. составляет $\pm 1...2$ ЕД. В полярных широтах северного полушария стандартное отклонение V8 превышает V7 на 10...14 ЕД, а в полярных широтах южного полушария – на 30 ЕД.

Для исследования динамических процессов в нижней стратосфере зональная скорость масс озона в южном и северном полушариях в весенний период рассчитывалась на основе метода, описанного в [10]. Как следует из карт изолиний поля ОСО, в течение нескольких последовательных суток основное изменение ВОАА связано с ее поворотом вокруг полюса. Поэтому в соседние дни циклические зависимости ОСО от долготы должны отличаться сдвигом на угол поворота за сутки. Между полем ОСО за определенный день и смещенным и повернутым на некоторый угол полем за предыдущий день имеется связь, выраженная коэффициентом корреляции. Наибольшее значение выборочного коэффициента корреляции, достигающее иногда 0,95...0,98, соответствует среднему за сутки смещению и повороту поля.

Анализ графика широтной зависимости зональной скорости переноса озона относительно поверхности Земли (усреднение по широтным зонам в 5° за 2000–2009 гг.) (рис. 2), показывает, что максимальные значения зональной скорости приходятся на область 45–55° в обоих полушариях и различаются в 1,6 раза. В области широт 30–60° движение воздушных масс происходит под воздействием отклоняющей

силы вращения Земли (силы Кориолиса). Горизонтальная составляющая силы Кориолиса действует перпендикулярно направлению движения воздушных масс: вправо в северном полушарии, влево в южном.

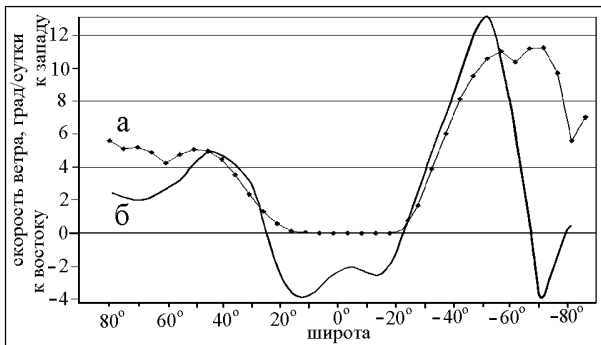


Рис. 2. Среднегодовая скорость зонального переноса озона в нижней стратосфере за 2000–2009 гг. (а) и скорость зонального переноса в тропосфере на уровне 850 гПа (б) [11]

В весенний период в средних широтах каждого из полушарий образуется интенсивный циркумполярный вихрь. В периоды существования циркумполярных вихрей скорости в нижней стратосфере и тропосфере на средних широтах максимальны. В нижней стратосфере полярных широт скорость зонального переноса остается достаточно большой, в тропосфере этих широт она падает, а в южном полушарии – меняет знак. В тропосфере тропического пояса преобладает восточный ветер, а в нижней стратосфере скорость зонального ветра близка к нулю.

Для большей наглядности приведем широтную зависимость скорости меридионального переноса озона, показывающего перенос масс озона в направлении «полюс–экватор», в южном полушарии за сентябрь (рис. 3). В весенний период в умеренных широтах зарегистрирован максимум общего содержания озона, а в полярной зоне находится антарктическая озоновая дыра, из которой озон вытекает со скоростью до 1,5 град./сут и закручивается в кольцо циркумполярного вихря на широтах от 30 до 55° ю. ш., где наблюдается увеличение общего содержания озона до 360 ЕД.

Установлено, что период с 1 сентября по 31 октября в южной полярной стратосфере характеризуется наибольшей динамической активностью (рис. 4). График на рис. 4 описывается нерегулярной кривой, показывающей, что переносы масс озона происходят в обоих направлениях. Однако к моменту максимума глубины дыры (28–30 сентября) преобладает отток (среднее значение скорости за сентябрь 0,33 град./сут), затем начинается приток (среднее значение скорости за октябрь – 1,22 град./сут). Нерегулярный характер кривой объясняется тем, что полученные данные относятся ко всей области дыры, на периферии которой происходят процессы оттока и притока масс озона, а вместе с тем имеет место смена меридиональной составляющей скорости движения масс озона. Следовательно, говорить о полной изоляции циркумполярным вихрем нижней стратосферы над Антарктидой во время существования озоновой дыры нельзя.



Рис. 3. Зависимость скорости меридионального переноса озона от широты за 1997–2008 гг. (широтная зона 70–75° ю. ш.) и средний профиль ОСО в южном полушарии в сентябре 2006 г.

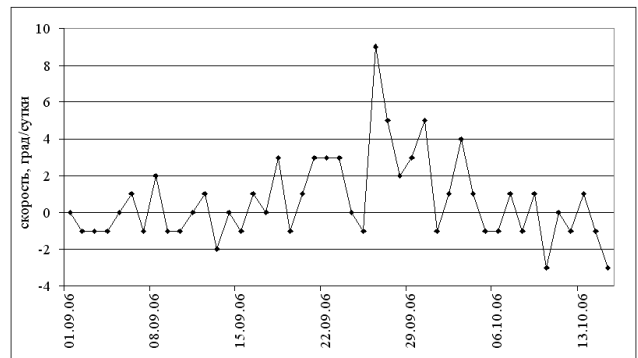


Рис. 4. Зависимость скорости меридионального переноса от времени в широтной зоне 70–75° ю. ш. (положительным значениям скорости соответствует отток масс озона в сторону циркумполярного вихря, отрицательным – приток озона из средних широт в озоновую дыру)

Для анализа параметров озоновой дыры использовались следующие характеристики: площадь ВОАА, внутри которой ОСО < 220 ЕД, и дефицит массы озона в широтной области вокруг южного полюса. Площадь озоновой дыры рассчитывалась как сумма площадей 288 сферических треугольников, одна из вершин которых лежит на полюсе с координатами $(R, 0, 0)$, а положения двух других вершин задаются величинами $(R, \varphi_2, \lambda_2)$, $(R, \varphi_3, \lambda_3)$, где $R = 6371$ км – средний радиус Земли. Площадь одного сферического треугольника рассчитывалась по формуле [12]:

$$S_{ph} = R^2 (\alpha + \beta + \gamma - \pi), \quad (1)$$

где внутренние углы треугольника α, β, γ выражены в радианах, значения которых находятся из соотношений

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{k}{\sin(s-a)}, \quad \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{k}{\sin(s-b)}, \quad \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{k}{\sin(s-c)},$$

а длины сторон определяются из выражений

$$a = \frac{x_2 \cdot x_3 + y_2 \cdot y_3 + z_2 \cdot z_3}{R_e^2}, \quad b = (90 - \varphi_2) \cdot \pi / 180,$$

$c = (90 - \phi_3) \cdot \pi / 180$, здесь x, y, z – сферические координаты. Граница области ВОАА задавалась исходя из климатической нормы, не превышающей 220 ЕД.

Сравним значения площади S_{ph} , рассчитанные по формуле (1), и S , приведенной в [13], для сентября–октября, когда площадь ВОАА была максимальной (рис. 5). Небольшое отличие в результатах обусловлено тем, что в случае площади S_{ph} граница области озоновой дыры задавалась с привязкой к географическим координатам, а в данных [13] граница области ВОАА, вероятно, интерполировалась. Обращает на себя внимание уменьшение площади в 1988 г. до $13,09 \text{ м}^2$ ($13,8 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ по данным [13]). Анализ исходной спутниковой информации показал, что такое небольшое значение S_{ph} обусловлено тем, что значения ОСО для 20 сентября 1988 г. имеются только до $\phi = -83,5^\circ$ и вычислить значения S_{ph} более точно не представляется возможным.

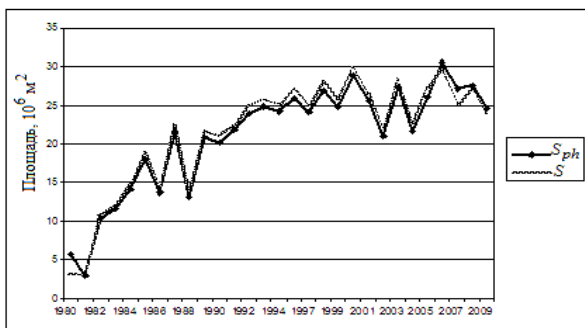


Рис. 5. Сравнение значений S_{ph} и S для сентября–октября, когда площадь ВОАА максимальна

Убыль ОСО в южной полярной области регистрировалась от 194 ЕД в 1979 г. до 73 ЕД в 1994 г. И если низкое значение ОСО 1994 г. связывают с выбросами вулканического аэрозоля, то как тогда объяснить экстремально низкое значение ОСО (82 ЕД), зарегистрированное 9 октября 2006 г.? Кроме того, за период 1980–2009 гг. максимальная площадь ВОАА S увеличилась до $28,86 \text{ млн м}^2$ в 2000 г. (в 2006 г. $S = 30,6 \text{ млн м}^2$), что составляет $\approx 6\%$ земной поверхности. Таким образом, за тридцать лет озоновая дыра над Антарктидой стала глубже в 2,5 раза, а ее площадь увеличилась примерно в 30 раз.

Для расчета дефицита массы озона в области озоновой дыры использовалась формула [14]:

$$\Delta M = (220 - X_{cp}) \cdot 2,11 \cdot 10^{-5} \cdot S_{ph},$$

где ΔM – дефицит массы озона; X_{cp} – среднее значение ОСО в области ВОАА за текущий день, ЕД; S_{ph} – площадь озоновой аномалии, м^2 ; m_i – масса всех молекул озона в i -м слое, $m_i = m_{oz} \cdot N_L = 2,1 \text{ кг/м}^3$, здесь $m_{oz} = 7,97 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ – масса молекулы озона, $N_L = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ – число Лошмидта. Полученные значения ΔM для дат минимума ОСО в озоновой дыре сравнивались с дефицитом массы озона OMD из [13] за аналогичные даты для периода 1982–2009 гг. (рис. 6). Коэффициент корреляции составил 0,97.

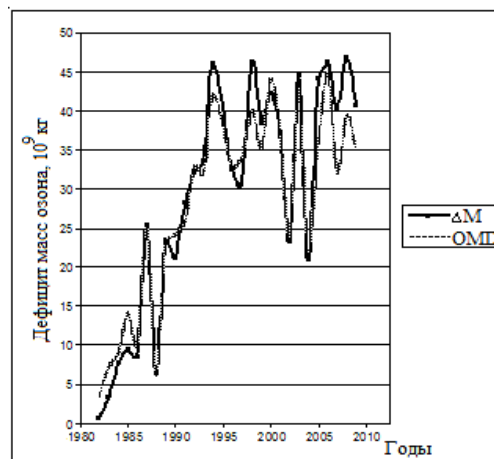


Рис. 6. Межгодовое изменение дефицита массы озона ΔM и OMD

Параметры S_{ph} , S , ΔM и OMD характеризуют быстрый рост ВОАА до 1989 г. В последующие годы площадь и дефицит массы озона изменялись практически синхронно, причем чем больше площадь, тем меньше озона внутри ВОАА. В 1994 г. этот эффект был нарушен: S_{ph} озоновой дыры отличалась от ее средних размеров в 1991–1993 гг. на $0,73 \cdot 10^6 \text{ м}^2$, а ΔM по отношению Δm_{cp} за этот период увеличился на $14,6 \cdot 10^9 \text{ кг}$. Минимум ОСО для этого периода уменьшился примерно на 28 ЕД (для 1994 г. $X = 73 \text{ ЕД}$). Однако начиная с 1996 г. синхронность изменений значений S_{ph} и ΔM восстановилась.

Анализ движения масс озона в направлении «экватор–полюс» позволил установить, что в период 1996–2009 гг. примерно за девять–двенадцать дней до минимума ОСО в озоновой дыре зональная скорость переноса озона значительно изменяется, причем за восемь–девять дней она возрастает, а затем за один–три дня уменьшается до X_{min} . По зональным данным ОСО выявлены широты накопления общего содержания озона в циркумполярном вихре, изменяющиеся с квазидвухлетней периодичностью: $45\text{--}50^\circ$ и $50\text{--}55^\circ$ ю. ш. Выявленные особенности учитывались при расчете средних значений в период возрастания зональной скорости переноса озона в максимуме ОСО (рис. 7). Получен коэффициент корреляции, равный 0,77. Этот результат свидетельствует о том, что уменьшение общего содержания озона в антарктической озоновой дыре сопровождается увеличением количества озона в циркумполярном вихре.

Таким образом, сделаем четыре важных вывода, которые следуют из представленных выше результатов:

- во-первых, уточнены значения дефицита масс озона в области антарктической озоновой дыры;
- во-вторых, установлено, что в сентябре озон утекает из ВОАА со скоростью до 1,5 град/сут;
- в-третьих, полная изоляция циркумполярным вихрем нижней стратосферы над Антарктидой во время существования озоновой дыры отсутствует;
- в-четвертых, обнаружена тесная связь дефицита массы озона в озоновой дыре со скоростью вращения

области накопления ОСО в циркумполярном вихре в южной полярной стратосфере за период 1996–2009 гг. (коэффициент корреляции 0,77).

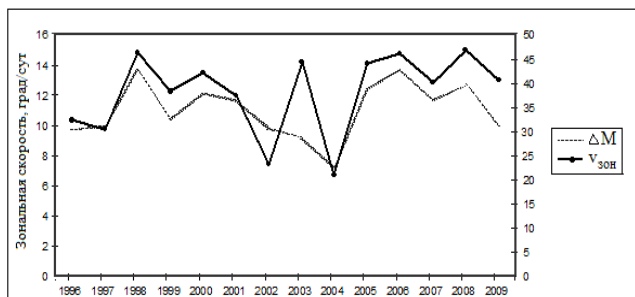


Рис. 7. Межгодовая изменчивость зональной скорости в области накопления общего содержания озона и дефицита массы озона в ВОАА

Полученные результаты будут использованы при исследовании динамических процессов, происходящих в нижней стратосфере, и изучении изменчивости суммарного озона в полярных широтах.

Библиографические ссылки

1. Кашкин В. Б., Романов А. А., Рублева Т. В. Исследование трендов спутниковых оценок общего содержания озона с использованием сингулярного спектрального анализа // Исслед. Земли из космоса. 2009. № 4. С. 9–16.
2. Звягинцев А. М., Крученицкий Г. М. Озоновый кризис: 20 лет спустя // Россия в окружающем мире – 2005 : аналит. ежегодник / под ред. Н. Н. Марфенина, С. А. Степанова. М. : Модус-К–Этерна, 2006. С. 125–145.
3. Рекордное химическое разрушение озона в Арктике зимой 2004–2005 гг. / Н. Д. Цветкова, В. А. Юшков, А. Н. Лукьянов и др. // Изв. Рос. акад. наук. Серия : Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43, № 5. С. 643–650.
4. Рыскин В. Г., Куликов Ю. Ю. Результаты оценки химических потерь озона в стратосфере над Кольским полуостровом зимой 2002–2003 гг. по данным микроволнового зондирования // Изв. Рос. акад. наук. Серия : Физика атмосферы и океана. 2008. Т. 44, № 2. С. 199–205.
5. Dobson G. M. B. Forty years' research on atmospheric ozone at Oxford university: a history // Applied Optics. 1968. Vol. 7. № 3. P. 387–405.
6. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006. Global Ozone Research and Monitoring Project : Rep. № 50 / World Meteorological Organization. Geneva, 2007.
7. Звягинцев А. М., Крученицкий Г. М. Эволюция весенней антарктической озоновой аномалии: результаты наблюдений // Исслед. Земли из космоса. 2002. № 6. С. 1–9.
8. Khlebopros R. G., Okhonin V. A., Kashkin V. B. Catastrophes in nature and society: Mathematical Modeling of Complex Systems. London : World Sci. Publ., 2006.
9. NASA/Goddard Space Flight Center's Database [Electronic resource]. URL: <http://toms.gsfc.nasa.gov> (date of visit: 10.01.2005).
10. Кашкин В. Б., Рублева Т. В., Хлебопрос Р. Г. Природоохранная геофизика: проблемы озонового щита планеты // Инж. экология. 2009. № 4. С. 18–33.
11. Сидоренков Н. С. Физика нестабильностей вращения Земли. М. : Физматлит, 2002.
12. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М. : Наука, 1973.
13. Ozone Hole Watch [Electronic resource]. URL: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/> (date of visit: 12.01.2010).
14. Huck P. E. The Coupling of Dynamics and Chemistry in the Antarctic Stratosphere [Electronic resource]. URL: <http://hdl.handle.net/10092/1410> (date of visit: 14.03.2010).

T. V. Rubleva, V. B. Kashkin, V. M. Myasnikov, S. A. Seliverstov

VARIABILITY OF POLAR STRATOSPHERIC OZONE OF THE SOUTHERN HEMISPHERE BASED ON SATELLITE DATA (APPARATUS TOMS, OMI)

Spatiotemporal features of Spring Ozone Anomaly in Antarctica (ozone hole) are considered. On the basis of satellite ozone data and with the help of correlation-extreme algorithm the zonal velocities of ozone in the southern polar stratosphere are calculated. Results of calculations of the ozone hole area for the region where the total ozone was less than 220 Dobson units, and of the mass deficit of ozone in the stratosphere over Antarctica are presented. Close link of ozone mass deficit in the ozone hole with the zonal velocity of the region accumulation the total ozone in the circumpolar vortex for 1996 to 2009 is revealed in this article.

Keywords: ozone depletion, dynamic of the lower stratosphere.

© Рублева Т. В., Кашкин В. Б., Мясников В. М., Селиверстов С. А., 2011

АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ НАБОРА КРЕДИТНЫХ ЗАЯВОК*

Рассмотрена задача нахождения оптимального набора кредитных заявок при управлении формированием кредитного портфеля банка. В качестве алгоритмов решения задачи предложены алгоритм полного перебора и алгоритм муравьиных колоний.

Ключевые слова: кредитный портфель, кредитная заявка, ликвидность, полный перебор, алгоритм муравьиных колоний, стигмержи.

Объектом исследования является процесс формирования кредитного портфеля банка, важнейшей составляющей которого является набор кредитных заявок. Проблема заключается в оптимизации процесса управления формированием кредитного портфеля банка по критериям ликвидности временной структуры активов/пассивов банка, риска невозврата и доходности кредитных операций.

Выбор оптимального решения при рассмотрении вопроса о кредитовании ссудозаемщиков при наличии жестких ограничений по суммам имеющихся в наличии свободных денежных средств, их стоимости, процентным ставкам на выдаваемые кредиты, срокам привлечения кредитных ресурсов, максимальному размеру кредита одному заемщику и т. п. – постоянная процедура, которую выполняют специалисты банка [1]. От правильности этих решений зависит финансовая стабильность банка, так же как и защита интересов его инвесторов. Определить возможные последствия для финансового состояния банка всех возможных вариантов инвестирования средств в тот или иной кредитный проект без использования программного обеспечения практически невозможно. Для упрощения процедуры принятия решения необходим поддерживающий алгоритм, способный из имеющегося набора кредитных заявок выбрать заявки, удовлетворяющие названным выше критериям.

Поиск оптимального набора кредитных заявок портфеля банка производится по критериям доходности кредитных операций и величине риска невозврата, третьим критерием в этом случае является соблюдение ликвидности временной структуры активов/пассивов банка. Самым первым временным интервалом, в котором необходимо добиться требуемого уровня ликвидности, будет временной интервал от одного дня до одного месяца, затем временной интервал от одного месяца до трех месяцев и т. д.

Рассмотрим процесс нахождения оптимального набора кредитных заявок для одного временного интервала и формализуем критерии получения максимальной доходности от проводимых банком кредитных операций при соблюдении требования минимизации риска невозврата.

Введем обозначения:

- F_i – сумма свободных пассивов, которыми располагает банк из i -го временного интервала;
- k_{ij} – сумма кредита, запрашиваемая j -м заемщиком с погашением долга в i -м временном интервале, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$;
- t_{ij} – период размещения средств в k_{ij} -й кредит;
- x_{ij} – булева переменная, принимающая значение 1, если кредит k_{ij} выдается, и 0, если заявка на получение кредита отклоняется банком;
- d_{ij} – проценты за пользование k_{ij} -м кредитом (предполагается, что эти проценты выплачиваются одновременно с возвратом самого кредита);
- P_{ij} – вероятность невозврата заемщиком обязательств по возврату кредита и процентов по нему.

В предлагаемой постановке задачи, в целях ее упрощения, предполагается два варианта обслуживания долга заемщиком: либо 100%-й возврат суммы кредита и процентов по нему в установленный срок, либо полное отсутствие платежей в погашение кредита и процентов по нему.

В данной статье выдача кредитов рассматривается не только как доходный инструмент банка, но и как инструмент, позволяющий повысить ликвидность временной структуры активов/пассивов банка. С этой целью полагаем, что пассивы P_i из временного интервала i в случае их недоиспользования не могут быть инвестированы в кредиты из других временных интервалов. Поэтому недоиспользованная сумма пассивов из i -го временного интервала, равная

$F_i - \sum_{j \in J} k_{ij} x_{ij}$, принимает участие в формировании кредитного портфеля с $d_{ij} = 0$ и $P_{ij} = 0$.

Тогда ожидаемые поступления (основной долг, проценты, недоиспользованные ресурсы) $E(x_{ij})$ от комбинации кредитных заявок будут определяться по формуле

$$\begin{aligned} E(x_{ij}) &= \sum_{j \in J} (k_{ij} + k_{ij} d_{ij} t_{ij}) x_{ij} (1 - P_{ij}) + F_i - \sum_{j \in J} k_{ij} x_{ij} = \\ &= \sum_{j \in J} k_{ij} x_{ij} (d_{ij} t_{ij} - P_{ij} - d_{ij} P_{ij} t_{ij}) + F_i. \end{aligned}$$

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.».

Для обеспечения ликвидности и прибыльности по окончании i -го периода кредитования необходимо, чтобы выполнялось следующее ограничение:

$$d_{ij}t_{ij} - P_{ij} - d_{ij}P_{ij}t_{ij} > 0, \quad (1)$$

которое можно представить в виде

$$\frac{d_{ij}t_{ij}}{1 + d_{ij}t_{ij}} > P_{ij}.$$

Выразим (1) через $w_{ij} = d_{ij}t_{ij} - P_{ij} - d_{ij}P_{ij}t_{ij}$. Тогда w_{ij} будет определять весовой коэффициент, характеризующий доходность и рискованность рассматриваемого проекта. Если $w_{ij} < 0$, то кредит ожидается убыточным и нет смысла его выдавать. В результате задача максимизации дохода и минимизации кредитного риска при соблюдении ликвидности баланса банка приобретет вид

$$F_i + \sum_{j \in J} w_{ij} k_{ij} x_{ij} \rightarrow \max,$$

или после отбрасывания константы F_i :

$$\sum_{j \in J} w_{ij} k_{ij} x_{ij} \rightarrow \max,$$

при одном из ограничений в зависимости от согласованности структуры активов/пассивов банка и способа ее построения. Тогда для всех временных интервалов

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \frac{w_{ij} k_{ij}}{t_{ij}} x_{ij} \rightarrow \max_{x_{ij}} \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{J_i} k_{ij} x_{ij} \leq F_i, i = \overline{1, I}. \quad (3)$$

Таким образом, задача нахождения набора кредитных заявок, оптимального по трем критериям: доходности, риска невозврата и ликвидности – приводится к задаче целочисленного линейного программирования, т. е. к задаче о рюкзаке.

Для решения этой задачи может использоваться метод полного перебора.

В задачах псевдодулевой оптимизации допустимое множество решений конечно, поэтому существует универсальный способ отыскания оптимального решения посредством полного перебора всех допустимых решений. С помощью полного перебора мы всегда можем (по крайней мере теоретически) найти оптимальное решение. В этом смысле простой перебор можно считать универсальным методом решения дискретных экстремальных задач.

Алгоритм метода полного перебора работает следующим образом.

Производим расчет необходимого числа итераций

$R = 2^{\sum_{i=1}^I k_i}$, где k_i – сумма кредита с погашением долга в i -м временном интервале, $i = \overline{1, I}$.

1. Определим $r = \overline{1, R}$, где r – номер итерации.

2. Двоичное выражение числа r формирует вектор X_r .

3. Если система ограничений (3) нарушается, то переход к п. 2, иначе – к п. 5.

4. Вычислим значения функции (2) f_r и сравним его с f_{r-1} . Если $f_r < f_{r-1}$, то $f_r = f_{r-1}$ и переход к п. 2, иначе $f_r = f_r$ и переход к п. 2.

5. После R итераций f_R принимаем за лучшее решение.

Однако такой алгоритм поиска применим только в тех исключительных случаях, когда мощность множества допустимых решений сравнительно невелика. Во многих же интересных с практической точки зрения задачах мощность множества допустимых решений, как правило, быстро (например, экспоненциально) растет с увеличением размерности, т. е. объема исходных данных, задачи. Это приводит к тому, что в задачах реальной размерности количество допустимых решений становится величиной астрономического порядка, что делает перебор практически невозможным.

В качестве альтернативы методу полного перебора могут использоваться алгоритмы муравьиных колоний. Алгоритмы муравьиных колоний – новые перспективные методы оптимизации, базирующиеся на моделировании поведения колонии муравьев. Колония муравьев может рассматриваться как многоагентная система, в которой каждый агент (муравей) функционирует по очень простым правилам. В противовес почти примитивному поведению агентов поведение всей системы получается на удивление разумным [2].

С помощью алгоритма муравьиных колоний были решены такие задачи комбинаторной оптимизации, как задача коммивояжера, квадратическая задача о назначениях, задача маршрутизации грузовиков, задача календарного планирования, задача раскраски графа, а также задача о рюкзаке [3].

Сформулируем многомерную задачу о рюкзаке:

$$f(X) = \sum_{t=1}^n c_t x_t \rightarrow \max, \quad \sum_{t=1}^n a_{st} x_t \leq b_s, \quad (4)$$

$$x_t \in \{0, 1\}, \quad t = 1, 2, \dots, n, \quad s = 1, 2, \dots, m.$$

При этом предполагается, что $c_t > 0$, $0 \leq a_{st} \leq b_s$, $t = \overline{1, n}$, $s = \overline{1, m}$.

Приведем экономическую интерпретацию многомерной задачи о рюкзаке. Пусть имеется n кредитных заявок и для их реализации задан вектор ресурсов $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, $b_s > 0$. Обозначим через $a_{st} > 0$ количество единиц ресурса типа s , необходимое для удовлетворения кредитной заявки с номером t , при этом хотя бы для одного ресурса s должно быть выполнено условие $\sum_{t=1}^n a_{st} > b_s$, т. е. размещение всех кредитных заявок невозможно. Пусть $c_t > 0$, $t = 1, 2, \dots, n$, – прибыль, полученная при удовлетворении кредитной заявки t . Требуется выбрать для реализации набор проектов с максимальной суммарной прибылью:

$$x_t = \begin{cases} 0, & \text{если кредит } t \text{ выдается,} \\ 1, & \text{если кредит } t \text{ отклоняется.} \end{cases}$$

Многомерная задача о рюкзаке является NP-трудной задачей, имеющей много практических приложений, таких как размещение процессоров в распределенных системах, размещение грузов, распределение бюджетных средств и т. д.

Стратегия поиска оптимального решения с помощью алгоритмов муравьиных колоний хорошо соотносится с решением задачи о многомерном рюкзаке [4].

Основу социального поведения муравьев составляет самоорганизация, которая является результатом взаимодействия следующих четырех компонентов:

- случайности;
- многократности;
- положительной обратной связи;
- отрицательной обратной связи.

Муравьи используют два способа передачи информации: прямой – обмен пищей, мандибулярный, визуальный и химический контакты, и непрямой – стигмержи. Стигмержи – это разнесенный во времени тип взаимодействия, когда один субъект взаимодействия изменяет некоторую часть окружающей среды, а остальные используют информацию об ее состоянии позже, когда находятся в ее окрестности. Биологически стигмержи осуществляется через феромон – специальный секрет, откладываемый как след при перемещении муравья. Любой муравей в фиксированный момент времени может воспринимать и изменять лишь одну локальную ячейку этой глобальной памяти [4].

Рассмотрим, как реализовать четыре компонента самоорганизации муравьев при решении задачи о многомерном рюкзаке.

Многократность взаимодействия реализуется итерационным поиском оптимального набора предметов в рюкзаке одновременно несколькими муравьями. При этом каждый муравей рассматривается как отдельный агент, независимо решающий свою задачу. За одну итерацию алгоритма каждый муравей набирает полный рюкзак.

Для задачи о рюкзаке положительная обратная связь реализуется следующим стохастическим правилом: для муравья вероятность положить предмет в рюкзак пропорциональна количеству феромона на этом предмете.

Применение такого вероятностного правила обеспечивает реализацию и другой составляющей самоорганизации – случайности. Количество откладываемого муравьем феромона на предмете пропорционально его важности. С другой стороны, время испарения феромона не должно быть и слишком малым, так как это приводит к быстрому забыванию, т. е. потере памяти колонии, и, следовательно, к некооперативному поведению муравьев.

Для каждого муравья решение взять предмет зависит от трех составляющих: памяти муравья (*tabu list*), значимости и виртуального следа феромона.

Tabu list – это список взятых муравьем предметов, которые брать еще раз нельзя. Используя этот список, муравей гарантированно не возьмет один и тот же предмет дважды. Обозначим через J_k список предме-

тов, которые муравью k можно взять на итерации l . Очевидно, что J_k является дополнением к *tabu list*.

Значимость η_s – это локальная статическая информация, выражающая эвристическое желание муравья взять предмет. Для одномерной задачи о рюкзаке можно предложить удельную ценность предмета – отношение коэффициентов целевой функции к коэффициентам ограничения: $\eta_s = \frac{c_s}{a_s}$ [5]. Когда ограничений в задаче становится больше одного, то значимость для каждого предмета определить однозначно уже нельзя.

Расчета значимости может проводиться по формуле

$$\eta_s = \frac{c_s}{\sum_{s=1}^m \frac{a_{st}}{b_s}}$$

В этом случае мы суммируем коэффициенты по каждому $s = 1, \dots, m$, где m – число ограничений задачи. Нормирование на коэффициенты b_s введено для масштабирования величин к величинам одного порядка.

Однако для нахождения оптимального решения помимо значимости необходимо использование виртуального следа феромона.

Виртуальный след феромона на предмете t представляет подтвержденное муравьиным опытом желание взять предмет t . В отличие от значимости след феромона является более глобальной и динамичной информацией, которая изменяется после каждой итерации алгоритма, отражая приобретенный муравьями опыт. Количество виртуального феромона на предмете t на итерации l обозначим через $\tau_t(l)$.

Важную роль в алгоритмах муравьиных колоний играет вероятностно-пропорциональное правило, определяющее вероятность для k -го муравья взять предмет t на итерации l :

$$P_{t,k}(l) = \begin{cases} \frac{[\tau_t(l)]^\alpha \cdot [\eta_t]^\beta}{\sum_{t \in J_k} [\tau_t(l)]^\alpha \cdot [\eta_t]^\beta}, & \text{если } t \in J_k, \\ 0, & \text{если } t \notin J_k, \end{cases} \quad (5)$$

где α и β – два регулируемых параметра, задающих веса следа феромона и значимости при выборе маршрута.

После того как каждый муравей набрал свой рюкзак, происходит изменение следа феромона на предметах. Способ изменения следа феромона зависит от модели алгоритма муравьиных колоний [3]: *ant-density* или *ant-cycle*.

В модели *ant-density* количество феромона, оставляемого муравьем на предмете, является постоянной величиной:

$$\Delta\tau_{t,k}(l) = \begin{cases} q, & \text{если } t \in T_k(l), \\ 0, & \text{если } t \notin T_k(l). \end{cases} \quad (6)$$

В модели *ant-cycle* количество феромона, оставляемого муравьем на предмете, зависит от общей ценности $f(T_k(t))$ этого набора предметов:

$$\Delta\tau_{t,k}(l) = \begin{cases} q \cdot f(T_k(l)), & \text{если } t \in T_k(l), \\ 0, & \text{если } t \notin T_k(l), \end{cases} \quad (7)$$

где $T_k(l)$ – набор предметов у k -го муравья на итерации l ; $f(T_k(l))$ – ценность этого набора; q – регулируемый параметр.

Для исследования всего пространства решений необходимо обеспечить испарение феромона, т. е. уменьшить во времени количество феромона, отложенного на предыдущих итерациях. Обозначим коэффициент испарения феромона через $p \in [0, 1]$. Тогда правило обновления феромона примет вид

$$\tau_t(l+1) = (1-p) \cdot \tau_t(l) + \Delta\tau_t(l),$$

где $\Delta\tau_t(l) = \sum_{k=1}^K \Delta\tau_t(l)$, здесь K – количество муравьев в колонии.

В начале работы алгоритма оптимизации количество феромона принимается равным небольшому положительному числу τ_0 . Общее количество муравьев в колонии остается постоянным на протяжении выполнения алгоритма. Многочисленная колония приводит к быстрому усилению субоптимальных решений, а когда муравьев мало, то возникает опасность потери кооперативности поведения через ограниченное взаимодействие и быстрое испарение феромона. Число муравьев можно назначить равным произведению числа предметов и числа ограничений.

Алгоритм муравьиных колоний выполняется следующим образом.

Подготовительные процедуры:

1. Инициализация параметров алгоритма муравьиных колоний α , β , p и q , m , τ_0 ; N – число итераций алгоритма.

2. Задание следа феромона τ_0 на предметах, расчет значимости предметов η_t .

Основной цикл (повторяется N раз):

3. Выбор каждым муравьем колонии набора предметов по вероятностно-пропорциональному правилу (5). Муравей набирает предметы, пока его *tabu list* не будет включать список всех предметов. Как только все муравьи колонии набрали свои рюкзаки, вычисление ценности и переход к п. 4.

4. Обновление следа феромона на предметах по заранее выбранной схеме: *ant-density* или *ant-cycle*. Испарение феромона.

5. Поиск лучшего решения f_{\max} на итерации и сравнение его с наилучшим f^* : если $f_{\max} > f^*$, то $f^* = f_{\max}$ и переход к п. 3.

Полученное значение f^* и является решением задачи.

Алгоритм муравьиных колоний находит близкие к оптимуму решения за значительно меньшее время даже для задач небольшой размерности ($n > 30$). Время оптимизации алгоритмом муравьиных колоний является полиномиальной функцией от размерности $O(n^3)$, тогда как для точных методов эта зависимость будет экспоненциальной.

Таким образом, применение метода полного перебора ограничено задачами небольшой размерности. При повышении размерности количество допустимых решений становится величиной астрономического порядка, что делает реализацию данного метода затруднительной. Алгоритм муравьиных колоний является более гибкой процедурой, так как он позволяет выбирать параметры α и β , влияющие на трудоемкость алгоритма и точность решения. Этот алгоритм способен эффективно решать задачу оптимизации набора кредитных заявок при управлении формированием кредитного портфеля банка. Размерность решаемых задач может быть достаточно велика, однако точность полученных решений при этом не гарантируется, как и для всех приближенных методов решения оптимизационных задач [5].

Библиографические ссылки

1. Пуртиков В. А. Постановка задачи оптимизации выбора кредитного портфеля // Вестник НИИ СУВПТ / НИИ систем упр., волновых процессов и технологий. Красноярск, 1999. Вып. 2. С. 145–159.
2. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process : Technical Rep. № 91-016 Revised / Politecnico di Milano. Milano, Italy, 1991.
3. Кагиров Р. Р. Применение муравьиных алгоритмов для решения задачи о рюкзаке // Вестн. унив. комплекса : сб. науч. тр. / под общ. ред. проф. Н. В. Василенко ; НИИ систем упр., волновых процессов и технологий. Красноярск, 2004. Вып. № 1 (15). С. 102–107.
4. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2003. № 4 (4). С. 70–75.
5. Кагиров Р. Р. Многомерная задача о рюкзаке: новые методы решения / Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 3 (16). С. 16–20.

А. А. Stupina, А. Ю. Yugay, М. V. Karaseva

CREDIT APPLICATIONS SET OPTIMIZATION ALGORITHMS

We consider a problem of building up the optimal set of loan applications in the management of credit portfolio. As the algorithms for solving the task we propose the algorithm of exhaustive search and the algorithms of ant colonies.

Keywords: loan portfolio, loan application, liquidity, an exhaustive search, the algorithm of ant colonies, stigmergy.

© Ступина А. А., Югай А. Я., Карасева М. В., 2011

УДК 621.396.67

Н. А. Тестоедов, Г. В. Двирный, М. Ю. Пермяков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ РЕФЛЕКТОРОВ

Рассматривается методика расчета рефлекторов в части температурных деформаций и выбор конструктивно-силовой схемы рефлектора, выполненной с использованием композиционного материала на основе углепластика и представляющую собой многослойную обшивку с сотовым наполнителем.

Ключевые слова: температурная деформация, верификация, фокус, схема армирования (укладки), силовой элемент, расчетная модель.

В состав антенн космического аппарата входят высокоточные размеростабильные рефлекторы из композиционных материалов, к которым предъявляются высокие требования по точностям в различных температурных условиях эксплуатации. Наибольший вклад в отклонения рабочей поверхности от теоретической формы вносят термоупругие деформации, обусловленные влиянием температурного перепада, коэффициентов линейного термического расширения, материалов сотового наполнителя, схем армирования полимерных композиционных материалов.

Условия эксплуатации космической техники предъявляют жесткие и противоречивые требования к физико-механическим и конструкционным свойствам силовых элементов, являющихся основой для крепления измерительных устройств. Главные из них – это минимум массы, высокая прочность и повышенная жесткость, стабильность линейных размеров в широком диапазоне температур, значительный ресурс работы и соответствующая надежность конструкции.

Композиционные материалы на основе высокомолекулярных углеродных волокон имеют высокие жесткостные характеристики и регулируемые коэффициенты линейного термического расширения (КЛТР).

Важным обстоятельством при проектировании несущих конструкций отражателей антенн космического назначения является выбор материала. Все более широкое применение в качестве конструкционных материалов для изделий подобного типа находят композиционные материалы на основе непрерывных волокон (КМ), обладающие уникальным набором физико-механических свойств и технологическими возможностями для их реализации в изделиях.

По многим показателям они значительно превосходят металлы и зачастую являются единственно приемлемыми для создания конструкций с заданными свойствами. Преимущество по удельной прочности и жесткости перед металлами обуславливает также значительную экономическую эффективность их использования в качестве материалов для несущих конструктивных элементов космических приборов.

По оценкам зарубежных специалистов, доставка одного килограмма конструкции в околоземное пространство обходится в сумму от 22 до 44 тыс. долл. Выбор материала значительно влияет на массовое совершенство, а также сильно воздействует на температурные деформации и термоупругое демпфирование.

Наиболее предпочтительными с этой точки зрения являются композиционные материалы на основе эпоксидных смол, армированных углеродными волокнами (углепластики).

Углепластики обладают высокими диссипативными свойствами, слабой зависимостью диссипации от частоты колебаний и высокими собственными резервами демпфирования упругой энергии за счет эластичных прослоек связующего.

Использование конструкционных материалов с малым значением КЛТР позволяет снизить степень воздействия температурных факторов на геометрическую стабильность конструкции. Широкие возможности в этом направлении дают эпокси-углепластики в силу специфического сочетания их физико-механических характеристик. Обладая достаточно высокой жесткостью и прочностью, малой плотностью, углепластики имеют чрезвычайно низкий КЛТР (зачастую отрицательный) в направлении волокон.

Углеродные волокна имеют фактически отрицательный КЛТР, т. е. сжимаются при нагревании. Это свойство в основном и определяет эффективность использования углеродных волокон при конструировании материалов с минимальной температурной деформацией. Углеродная арматура в сочетании с другими волокнами и эпоксидной матрицей позволяет изготавливать конструкционные элементы практически с нулевой термической деформацией.

По сравнению с другими полимерными связующими, применяемыми для изготовления армированных пластиков, эпоксидные смолы обладают рядом преимуществ, которые делают их незаменимыми в качестве связующих для высокопрочных композитов. К таким преимуществам относятся:

- низкая линейная усадка (менее 2 %) и отсутствие низкомолекулярных продуктов отверждения;
- высокая адгезия, превосходящая адгезию большинства других смол, связанная со сравнительно высокой полярностью и способностью эпоксидных групп к химическому взаимодействию с поверхностью многих материалов;
- возможность получения этих смол в различном физическом состоянии – от твердых до низковязких, что позволяет использовать самые различные технологические приемы;
- высокие механические показатели, превышающие показатели других сетчатых полимеров;

- высокие электрические характеристики в широком температурном интервале;
- возможность получения монолитных изделий и конструкций;
- водо- и химическая стойкость.

Волокнистые высокопрочные композиционные материалы представляют собой высоконаполненные ориентированные системы, в которых объемное содержание полимера сравнительно невелико.

В ненагруженном однонаправленном композите, обычно представляемом квадратичной или гексагональной моделью, теоретически минимальное объемное содержание полимера в плотноупакованной квадратичной структуре около 21 %, в гексагональной – 13 %. С учетом того, что эффективная работа монослоя возможна лишь при наличии определенной клеевой прослойки между волокнами, составляющими такую структуру, процентное содержание волокон обычно не превышает 64...66 % от общей массы композита.

Армирующие волокна можно считать совершенно жесткими, так как модуль упругости применяемых неорганических волокон значительно больше модуля упругости полимера.

При отверждении эпоксидного полимера в ходе изготовления композиционного материала, которое происходит обычно при повышенной температуре, объем полимера уменьшается вследствие его усадки, а вязкость быстро нарастает. До момента гелеобразования, пока полимер способен к течению, его объем может уменьшаться за счет уменьшения объема всей системы или образования пор. После гелеобразования течение полимера невозможно и происходит деформация всей системы. Однако при этом деформация полимера ограничена волокнами, что приводит к появлению в полимере внутренних напряжений. Для снятия внутренних напряжений, появившихся в результате формования, производится термоциклирование.

Так как армированные пластики, как правило, содержат большое количество заполнителя, то можно считать, что он образует жесткий скелет, препятствующий деформации полимера, т. е. связующее подвергается всестороннему растяжению. Объемная деформация при этом может составлять несколько процентов.

Таким образом, уже в ненагруженном состоянии полимерная матрица должна выдерживать значительные механические деформации без разрушения и нарушения адгезии на границе с волокном. Как показали микромеханические исследования, эпоксидные смолы значительно лучше других связующих выдерживают подобные условия. Микротрещины появляются в них только после термостарения, в то время как композиты на основе фенольных, кремнийорганических и других связующих растрескиваются уже после изготовления. Кроме того, практически только эпоксидные связующие могут обеспечить монолитность при больших степенях заполнения, необходимых для получения высокопрочных ориентированных композиционных материалов.

Поскольку модули упругости наполнителя и матрицы сильно различаются, для обеспечения монолитности композиционного материала необходимы полимерные матрицы, значения предельных удлинений которых намного превышают среднее удлинение композиционного материала при сохранении достаточных значений прочности.

Особую важность имеет прочность при сдвиге, так как именно малая прочность при сдвиге между слоями является одним из основных недостатков армированных композиционных материалов. При этом предполагается, что адгезионная прочность превосходит прочность полимера, т. е. разрушения по границе раздела не происходит.

Напряжения и деформации для квадратичной и гексагональной укладки волокон являются функцией отношения модулей наполнителя и матрицы и плотности упаковки волокон. Если считать, что полимерная матрица и наполнитель подчиняются закону Гука, то при объемной доле волокна от 0,6 до 0,75 отношение предельных удлинений изменяется от 5 до 15. Если же учитывать нелинейное вязко-упругое поведение полимерной матрицы, то это отношение еще больше возрастает.

Увеличение предельной деформации связующего за счет снижения его модуля упругости и прочности, как это происходит при пластификации, не приводит к повышению прочности пластика, так как при уменьшении модуля упругости матрицы ее предельное удлинение, необходимое для сохранения монолитности, возрастает. Таким образом, «идеальное» связующее должно обладать большим удлинением при высоких значениях модуля упругости и прочности, особенно при сдвиге.

В работе представлена верификация конечно-элементных моделей рефлекторов по результатам температурных испытаний в части температурных деформаций. Диаметр рефлектора 1 250 мм. Поверхность рефлектора – параболоид вращения $y^2 + z^2 = 4Fx$, где фокусное расстояние $F = 420$ мм. Рефлектор представляет собой сотовую конструкцию толщиной 20 мм с обшивками из нескольких слоев углеродной ленты, схемы армирования препрега с толщиной одного слоя 0,3 мм, сотового заполнителя на основе алюминиевого сплава (рис. 1, 2).

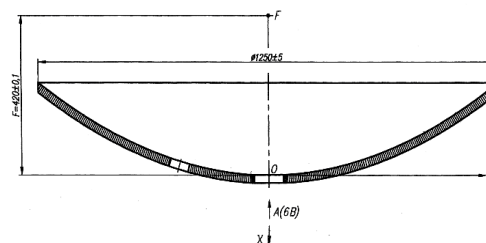


Рис. 1. Общий вид рефлектора

В статье рассмотрены несколько вариантов укладки обшивки:

- 1/0 + 1/60 + 1/–60 углепластик КМУ-4Л;

- 1/0 + 1/90/ + 1/90 + 1/0 углепластик КМУ-4Л секторная выкладка со смещением слоев;
- 1/0 + 1/-45 + 1/45 + 1/90 углепластик Кулон 500/0,07.

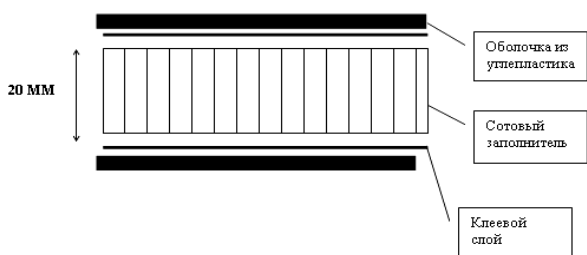


Рис. 2. Структурная схема рефлектора

Слоистая оболочка рефлектора, выполненного со смещением слоев, изготовлена из 4 слоев препрега КМУ-4Л. Каждый из слоев обшивки состоит из уложенных встык друг к другу секторов с одинаковым центральным углом $\beta = 8^\circ$, в каждом секторе одного слоя направления волокон препрега расположены под одинаковым для этого слоя углом $\varphi_n = 0 \dots \pm 90^\circ$ к центральной оси сектора. Стыки секторов каждого последующего слоя смещены относительно стыков секторов предыдущего слоя на угол δ , составляющий часть центрального угла сектора $\delta = 2^\circ$.

Центральный угол развертки конуса β определяется геометрией изделия и рассчитывается, исходя из требуемых физико-механических характеристик обшивки и ширины ленты препрега. Угол смещения стыков секторов δ обеспечивает сдвигу стыков секторов каждого последующего слоя по отношению к предыдущему и определяется из условия технологичности изготовления изделия при возможно минимальном количестве расположений стыков секторов в отдельных слоях обшивки один над другим.

Угол выкладки сотонаполнителя выбирается исходя из соображения создания квазиизотропной структуры.

Изготовление обшивки рефлектора, выполненного секторной выкладкой со смещением слоев, производится следующим образом:

- на однонаправленный волокнистый материал, пропитанный полимерным связующим, накладывается шаблон, имеющий форму сектора с центральным углом β ;
- производится ориентация направления волокон однонаправленного материала к центральной оси шаблона под заданным для первого слоя углом φ_1 ;
- вырезанные сектора первого слоя укладываются встык один к другому на оснастку до заполнения развертки;
- для второго слоя производится ориентация направления волокон однонаправленного материала к центральной оси шаблона под заданным для второго слоя углом φ_2 ;
- второй слой начинается с укладки на первый слой первого сектора второго слоя со смещением од-

ной из сторон на угол δ , составляющий часть центрального угла сектора γ .

Схема армирования рефлектора со смещением слоев показана на рис. 3.

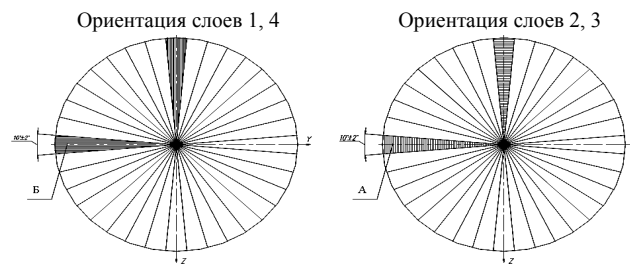


Рис. 3. Схема армирования рефлектора со смещением слоев

Все рефлектора испытывались по одной схеме и методике испытаний.

Испытания проводились в следующем порядке:

- расставили температурные датчики, согласно схеме на рис. 4;
- собрали схему испытаний (рис. 5), с системой тепловой изоляции при помощи двух слоев полиэтиленерефталатной пленки (ПЭТ) и листа из алюминия;
- произвели измерение геометрических параметров рабочей поверхности рефлектора в нормальных условиях. По измеренным 6 реперным знакам на поверхности рефлектора ($d = 500$ мм) построили систему координат;
- произвели нагрев рефлектора до температуры $80 \pm 7^\circ\text{C}$. Начальная скорость нагрева не более $1^\circ\text{C}/\text{мин}$. Выдержали температурный режим 15...20 мин. Контроль температуры нагреваемой поверхности рефлектора осуществили при помощи температурных датчиков;
- произвели измерение геометрических параметров рабочей поверхности рефлектора в нагретом состоянии.

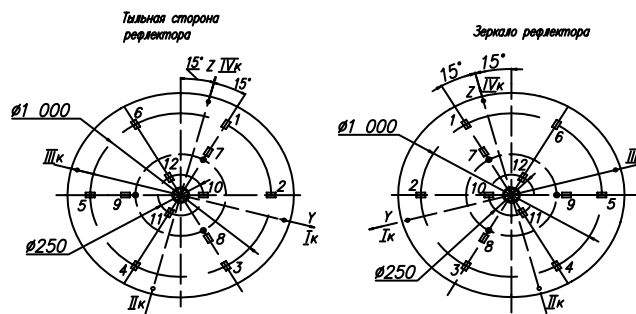


Рис. 4. Схема расстановки температурных датчиков

Погрешность измерений $\pm 0,040$ мм.

Для каждого рефлектора все вышепредставленные операции проводились 3 раза.

Для верификации создана конечно-элементная модель рефлектора с помощью конечного элемента Laminate. Laminate (многослойная пластина) – элемент пластины, учитывающий все внутренние сило-

вые факторы: мембранные, сдвиговые, поперечные и изгибные. Его основное значение – моделирование многослойных композитных материалов. Конечно-элементная модель содержит в себе 2 400 узлов и 2 180 элементов. Модель реализована с помощью препроцессора MSC/PATRAN. Для анализа расчетной модели использовался метод конечных элементов, реализованный в системе моделирования и конечно-элементного анализа конструкции MSC/NASTRAN. В результате расчета определены перемещения точек относительно первоначального положения. Расчеты выполнены для температурного поля с максимальной температурой 80 °С. Координаты температурных датчиков, полученные в экспериментальных условиях, были учтены при создании модели для аппроксимации температур по математической модели с каждой из сторон и вычисления градиента температур.

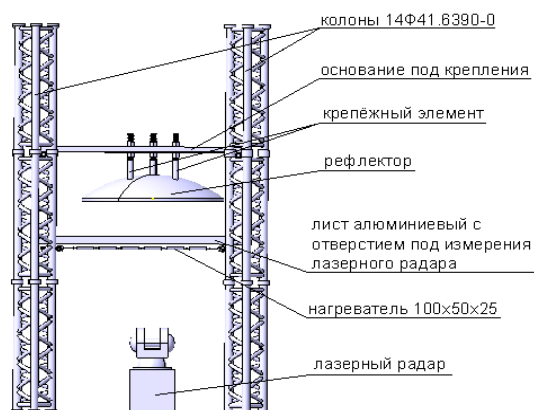


Рис. 5. Схема проведения испытаний (на схеме не показана пленка ПЭТ)

В результате расчетов получены максимальные отклонения от теоретического профиля:

– температурные деформации рефлектора со схемой армирования 1/0 + 1/60 + 1/-60 составили $\delta_x = -0,1029$ мм, $\delta_y = -0,0298$ мм, $\delta_z = -0,0268$ мм;

– температурные деформации рефлектора со схемой армирования 1/0 + 1/90 + 1/90 + 1/0 составили $\delta_x = -0,1061$ мм, $\delta_y = 0,055$ мм, $\delta_z = 0,0541$ мм;

– температурные деформации рефлектора со схемой армирования 1/0 + 1/-45 + 1/45 + 1/90 составили $\delta_x = -0,0933$ мм, $\delta_y = -0,0259$ мм, $\delta_z = -0,0243$ мм.

Для верификации конечной элементной модели с результатами испытаний использовался программный пакет New River Kinematics Spatial Analyze.

Верификация проходила в такой последовательности:

1) по координатам узлов КЭМ, полученных в результате расчета (под воздействием температурного поля), построен теоретический параболоид;

2) по координатам точек, полученных по результатам испытаний под воздействием температурного поля, построен экспериментальный параболоид;

3) из каждой точки теоретического параболоида проведен вектор к поверхности экспериментального параболоида (тем самым определены отклонения каждой точки по всем трем направлениям). Пример верификации результатов расчета с результатами эксперимента показан на рис. 6 (линиями обозначен теоретический параболоид, сеткой экспериментальный).

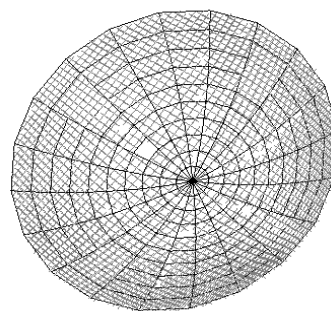


Рис. 6. Верификация результатов расчета с экспериментом

По результатам проведенных исследований конструктивно-технологического исполнения антенн и расчетов рефлектора антенны можно сделать следующие выводы.

При проектировании антенны и отработке технологии изготовления антенн следует обязательно учитывать направление углов армирования и количество слоев для углепластиковых обшивок не только с учетом жесткостных характеристик (определение частот), но и с учетом температурных деформаций.

Отклонение от квазиизотропной структуры армирования $0 \pm 60^\circ$ углепластиковых обшивок приводит к существенным температурным деформациям. Введение дополнительного слоя $0 \pm 60 + 0^\circ$, нарушающего квазиизотропную структуру оболочки, приводит к увеличению деформаций примерно в 2 раза.

Технологические отклонения углов укладки $\pm 2^\circ$ существенно влияют на величину температурных деформаций, которые возрастают на 18 %.

Результаты температурного анализа антенны в температурном поле с максимальной температурой 80 °С показали, что применение препрега КМУ-4Л возможно при создании антенны, однако полученные характеристики являются предельными по своим показателям и практически не дают запаса как по точностным, так и по жесткостным характеристикам. С целью получения конструкции антенны с запасом по жесткости и точности следует переходить на материалы с более высоким модулем упругости, например на углеродные волокна M55J или отечественный материал КУЛОН-500/0,07.

N. A. Testoedov, G. V. Dvirniy, M. Yu. Permyakov

TEMPERATURE DEFORMATION VALUE DEFINITION OF SIZE STABLE REFLECTORS

A calculation method of reflectors with regard to temperature deformation and choice of reflector structurally supportive design, made with the usage of material on the basis of carbon fiber reinforced plastic and which presents multilayer covering with honey comb sandwich is investigated in the report.

Keywords: temperature deformation, verification, focus, armoring arrangement, load-bearing element, design model.

© Тестоедов Н. А., Двирный Г. В., Пермяков М. Ю., 2011

УДК 621.396.4

И. Н. Тульский

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ РАДИОСЕТЕЙ ТИПА 3G И 4G ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДОВ КОМПРЕССИИ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрены альтернативные методы сжатия (компрессии) мультимедийной информации. Произведен сравнительный анализ уже существующих кодеков и алгоритмов с предложенными алгоритмами сжатия и восстановления информации в современных радиосетях.

Ключевые слова: радиосети, сжатие, мультимедиа, вейвлет, чирплет, кодек.

Сфера услуг, предоставляемых абонентам мобильных радиосетей, разнообразна и постоянно пополняется. Для качественной передачи информации в беспроводной сотовой связи необходимо рассмотреть возможность использования методов сжатия (компрессии) как с потерями, так и без потерь.

Применяемые в настоящее время методы компрессии по большей своей части и в силу стандартов, навязанных производителями, не соответствуют стандартам для организации скоростного потока передачи информации. Возможность передачи больших объемов цифровых данных, в том числе аудио- и видеоинформации, не учитывает специфику каналов и устройств мобильной связи: низкую помехоустойчивость, малые объемы памяти, низкие вычислительные возможности терминала.

Основными задачами беспроводной сотовой связи являются повышение эффективности и улучшение эксплуатационных характеристик бортовой аппаратуры доставки мультимедийной информации, упрощение программных алгоритмов обработки информации в терминалах.

Таким образом, проблема повышения эффективности организации сервисов по обработке и доставке мультимедийной информации абонентам мобильной связи в современных радиосетях имеет большое значение. Для ее разрешения необходима разработка альтернативных алгоритмов обработки данных, соответствующих специфике мобильных сетей и терминалов связи, для чего решаются следующие задачи:

– анализ существующих технических решений по сжатию мультимедийной информации, применяемых в беспроводных системах связи;

– обзор предлагаемых решений по обеспечению эффективного сжатия мультимедийной информации, учитывающего специфику радиоканалов, в частности сетей мобильной связи третьего и четвертого поколений;

– оценка необходимости использования новых методов обработки и сжатия информации;

– исследование математического аппарата чирплет-преобразований применительно к обработке мультимедийной информации и сжатия данных с допустимыми потерями;

– разработка алгоритмов сжатия статичных изображений, видео- и аудиопоследовательностей на основе чирплет-преобразования;

– аналитическое и имитационное моделирование прохождения сигнала по радиоканалу с возникновением характерных ошибок (случайных битовых ошибок, потери пакета данных, потери синхронизации потока).

На основании вышеизложенного, в качестве наиболее универсального метода и простого математического аппарата, схожего по свойствам с математическим аппаратом вейвлет-преобразований, взято адаптивное чирплет-преобразование.

Для анализа нестационарных процессов, в которых информативным является сам факт изменения частотно-временных характеристик сигнала (речи, музыки, изображения), требуются базисные функции, способные выявлять как частотные, так и временные характеристики, т. е. обладающие частотно-временной локализацией [1]. Одним из способов решения данной задачи является использование математического аппарата чирплет-функций, в частности чирплет-

разложения сигнала, при котором, в отличие от оконного преобразования Фурье, базисную функцию не только смещают во времени и масштабируют, но и определяют наклон частоты, чтобы получить многократное перекрытие сигнала.

Чирплет – это кусочек линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала (chirp). Точнее, чирплет – это результат умножения такого сигнала на окно, что обеспечивает свойство локализованности во времени. В условиях частотно-временного пространства мелкие ЛЧМ-импульсы существуют как вращающиеся, сдвинутые, деформированные структуры, движущиеся от традиционного параллелизма по временной и частотным осям, типичным для волн (преобразование Фурье и оконное преобразование Фурье, или вейвлет) [3]. Таким образом, чирплет-преобразование является повернутым, взвешенным или иначе измененным мозаичным представлением частотно-временной плоскости (рис. 1). *Чирплет-преобразование* – это скалярное произведение входного сигнала с семейством элементарных математических функций, именуемых чирплетами [3].

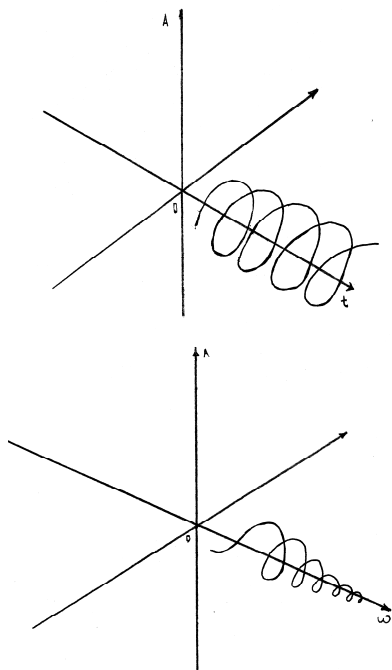


Рис. 1. Сопоставление сигнала во временной и частотной области

При обработке изображений и звуков период чаще всего изменяется линейно. Примером этого может служить градация цвета, изменение яркости, переход от одного цвета к другому, повышение частоты голоса, звуки окружающей среды и т. д. [2]. Абоненты мобильных радиосетей имеют терминалы с малыми размерами дисплеев (экранов). Пользователь такого терминала при сжатии изображения или звука с потерями не заметит какого-либо ухудшения качества мультимедийной информации. Поэтому чирплет-преобразование в данном случае более полезно, чем фурье-или вейвлет-преобразование.

Адаптивное чирплет-разложение сигнала $S(t)$ есть сумма чирплет-всплесков (функций) $g_n(t)$ и может быть представлено в виде

$$S(t) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n g_n(t),$$

$$g(t) = (n\sigma_n^2)^{-0,25} \exp \left\{ -\frac{(t-t_n)^2}{2\sigma_n^2} + j\omega_n(t-t_n) + j\beta_n(t-t_n)^2 \right\},$$

где σ_n – шкала времени; t_n – текущее время; ω_n – начальная частота; β_n – чирплет-всплески.

Чирплет-всплески можно описать следующей формулой:

$$|C_n|^2 = \max \{ |S_n(t), g_n(t)| \}^2, \quad (1),$$

где $S_n(t)$ – остаточная ортогональная проекция $S_{n-1}(t)$ на $g_{n-1}(t)$:

$$S_n(t) = S_{n-1}(t) - C_{n-1}g_{n-1}(t) = S(t) - \sum_{i=1, i \neq n}^{n-1} C_i g_i(t), \quad (2)$$

$$S_0(t) = S(t).$$

Таким образом, адаптивное чирплет-разложение сигналов можно получить с помощью формул (1), (2).

Следуя из вышесказанного, определим адаптивное чирплет-преобразование как разложение сигнала по всевозможным сдвигам и сжатиям некоторых элементарных математических функций.

Различают три основных области применения двумерных унитарных преобразований для обработки изображений. Прежде всего эти преобразования используются для выделения характерных признаков изображения. Например, постоянная составляющая спектра Фурье пропорциональна средней яркости изображения, а высокочастотные составляющие характеризуют ориентацию и резкость контуров. Другой областью применения чирплет-преобразований является кодирование изображений, когда оцифровке, т. е. квантованию с конечным числом уровней, подвергается не само дискретное изображение, а его спектр, что во многих случаях позволяет добиться заметного сокращения длины кода. Третья область приложений – это сокращение размерности при выполнении вычислений за счет того, что в процессе спектральной обработки (например, фильтрации) малые по величине коэффициенты преобразования можно отбросить без заметного ухудшения качества обработки.

Важным свойством чирплет-преобразований является то, что отсчеты записывают в единый поток данных, замещая предыдущие значения. Все отсчеты этого потока заменяются новыми отсчетами, и в любой момент времени для осуществления дальнейших вычислений необходимы только текущие отсчеты. Это свойство сходно со свойством быстрого преобразования Фурье, где преобразованные данные также замещают исходные, благодаря чему при осуществлении преобразований существенно экономится память. Это является важнейшим фактором при построении чирплет-преобразований для устройств с ограниченными

вычислительными ресурсами (например, мобильных телефонов или карманных компьютеров).

Рассмотрим конкретные алгоритмы по обработке статических изображений, видеопоследовательностей и аудиофрагментов, построенные на базе математического аппарата чирплет-преобразований (рис. 2, 3).

В процессе чирплет-преобразований происходит разложение исходного вектора на низкочастотные и высокочастотные составляющие. В то же время в реальных изображениях, видео- и аудиопоследовательностях основная доля информации содержится именно в области низких частот. Следовательно, в процессе чирплет-преобразований может быть достигнуто эффективное разделение исходного сигнала на ряд

слоев, отсчеты в которых сгруппированы в зависимости от значимости содержащейся в них информации.

Любое статичное изображение может быть представлено в виде двухмерной (2D) матрицы с отсчетами исходного сигнала, причем в случае стандартного цветного изображения (RGB, 24 бита на пиксель) эта матрица распадается на три независимых слоя, т. е. любое цветное изображение может быть представлено в виде трех 2D-матриц с исходными отсчетами.

Процесс 2D-преобразования матрицы отчетов может быть представлен в виде двух 1D-преобразований столбцов и строк исходной матрицы, что позволяет построить эффективные и оптимизированные вычислительные алгоритмы (рис. 4).

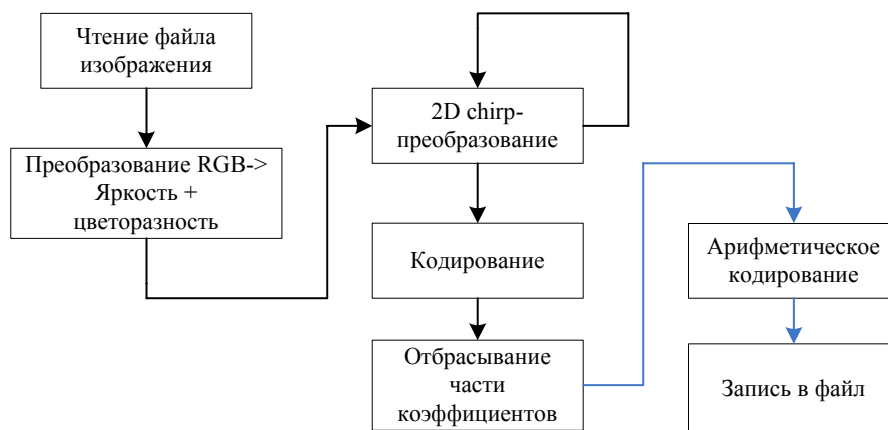


Рис. 2. Структурная схема метода обработки статического изображения, использующего чирплет-преобразования

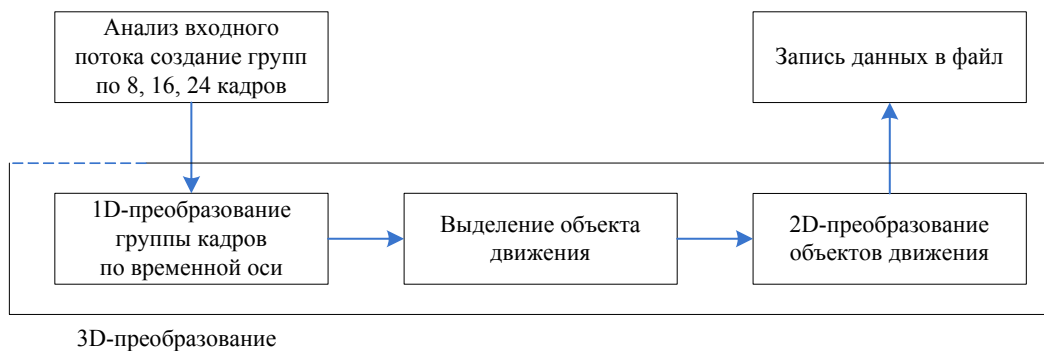


Рис. 3. Структурная схема метода обработки видеопоследовательности с помощью чирплет-преобразований



Рис. 4. Сжатие черно-белой фотографии с использованием чирплет-преобразования в программе MATLAB

Следует отметить, что обрабатываемую последовательность представляют в виде групп кадров, по 16 кадров в каждой. Такой объем анализируемой группы кадров является разумным компромиссом между скоростью обработки и степенью компрессии данных. В то же время векторы из 16 элементов могут быть эффективно обработаны с помощью четырех рекурсивных вызовов чирплет-преобразования.

Битовый поток, формируемый таким образом, обладает особой гибкостью как внутри кадра, так и между кадрами, во временной области. Это означает, что возможны различные варианты прогрессивной загрузки видеопоследовательности: как поочередная загрузка всех кадров, так и одновременная. В первом варианте в случае обрыва связи восстановленное изображение будет высокого качества, но будет размыт объект движения. Во втором варианте все движение будет восстановлено полностью, но общее качество изображения будет низким. Очевидно, что в случае успешной загрузки всех кадров целиком видеопоследовательность будет восстановлена точно и с высоким качеством.

Данное свойство позволяет добиться высокой помехоустойчивости передаваемого по радиоканалу потока данных. В общем случае адаптивный алгоритм прогрессивной загрузки видеопоследовательности выглядит следующим образом.

Передатчик:

1. Определить характер движения с помощью вычисления суммарного отклонения значений яркостей пикселей в первом и последнем кадрах группы:

$$D = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (|Y_{15}(i, j) - Y_0(i, j)|)}{M \cdot N \cdot 255^2 \cdot 3}.$$

2. Аппроксимировать весовые коэффициенты K_F , несущие информацию о значимости кадров, с помощью выражения

$$K'_F = 1 - (1 - D)F = 1 - F + DF, \quad F = 0, 1, \dots, 15,$$

$$K_F = \begin{cases} K'_F, & \text{если } K'_F \geq 0, \\ 0, & \text{если } K'_F < 0. \end{cases}$$

3. Записать информацию о характере движения и весовые коэффициенты в служебном заголовке группы кадров.

Приемник:

4. Принять информацию из служебного заголовка группы кадров.

5. В соответствии с полученными весовыми коэффициентами начать последовательный прием кадров в объеме, соответствующем весовым коэффициентам.

Для каждого принимаемого кадра:

6. Принять $n = \lfloor \log_2(\max_{(i,j)} |Y(i, j)|) \rfloor$.

7. Принять μ_n , координаты $\eta(k)$ и знаки коэффициентов $Y(\eta(k))$, для которых

$$2^n \leq |Y(\eta(k))| < 2^{n+1}.$$

8. Принять n -й значимый бит всех коэффициентов $Y(i, j)$, для которых $|Y(i, j)| \geq 2^{n+1}$, т. е. для тех, чьи координаты были приняты в п. 7.

9. Уменьшить n на 1 и перейти к п. 7.

10. Восстановить видеопоследовательность на основе принятых (или частично принятых) кадров с чирплет-коэффициентами.

Предложенный алгоритм позволяет отказаться от привязки абонентов к какому-либо выбранному закодированному видеопотоку с фиксированной скоростью, предоставляя им сервис с наилучшим возможным качеством и используя ту часть единого потока данных, которая может быть принята при данной скорости абонентского подключения. В качестве объективного параметра оценки качества принято пиковое отношение сигнала к помехе PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) для группы кадров.

Рассмотрим случай, когда в силу каких-либо обстоятельств на вход декодера подана не вся группа кадров, а лишь несколько первых кадров. Такая ситуация может возникнуть при резком ухудшении канала связи, когда скорость резко падает и принять весь запланированный пакет данных клиентское приложение уже не в состоянии. Результаты экспериментов по восстановлению закодированных данных с помощью адаптивного алгоритма прогрессивной загрузки видеопоследовательностей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Восстановление при неполном приеме закодированных кадров

Количество кадров на входе	Потери кадров в группе, %	Эквивалент скорости потока, кбит/с	PSNR, дБ
16	0	256	34,3
8	50	128	28,9
4	75	64	26,4
2	87,5	32	24,3

Анализ данных табл. 1 показывает, что даже в случае существенного снижения скорости принимаемого потока данных декодер в состоянии восстановить фон в видеопоследовательности и движение объектов.

Кадры видеопоследовательности содержат наиболее важную информацию в достаточно малой области низких частот и, вследствие прогрессивного кодирования, мало подвержены влиянию различных ошибок. В то же время чирплет-преобразование, примененное к временной области, переносит наиболее важную информацию, содержащуюся в группе кадров, в первые два кадра (первый – фон, второй – базовая информация о движении). Это свойство, очевидно, может оказать сильное влияние на оценку помехоустойчивости закодированного потока.

Результаты восстановления видеосигналов при различных компьютерных моделях внесения ошибок в процессе передачи по радиоканалу: случайных битовых ошибках, потере пакета и потере синхрониза-

ции битового потока – представлены в табл. 2–4. Эксперименты были проведены на двух различных тестовых файлах как для адаптивного алгоритма прогрессивной загрузки видеопоследовательностей, так и для широко распространенных коммерческих алгоритмов: MPEG-4, DivX511, H.263.

Для других видов мультимедийной информации: статичных изображений и аудиопоследовательностей – полученные результаты качественно не отличались.

Таким образом, предложенный алгоритм сжатия мультимедийной информации показал более высокую помехоустойчивость по сравнению с широко распро-

страненными алгоритмами, обеспечив при этом сравнимую или более высокую степень компрессии данных.

Библиографические ссылки

1. Mann S. Adaptive chirplet transform // Optical Engineering. 1992. Vol. 31, № 6. P. 1243–1256.
2. Mihovilovic D., Bracewell R. N. Adaptive chirplet representation of signals in the time-frequency plane // Electronics Letters. 1991. Vol. 27, № 13. P. 1159–1161.
3. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. М. : Солон-Пресс, 2002.

Таблица 2

Оценка помехоустойчивости при внесении случайных битовых ошибок в видеопоследовательность

BER	Фрагмент	Оценка PSNR, дБ				
		MPEG-4	DivX511	H.263	Wavelet	Chirplet
10 ⁻²	1	18,4	18,1	16,7	26,1	26,1
	2	23,2	21,1	20,1	28,3	28,8
10 ⁻³	1	24,2	24,1	23,8	28,8	30,1
	2	26,8	26,4	25,6	30,5	31,7
10 ⁻⁴	1	30,9	29,9	28,7	31,1	32,4
	2	31,7	30,5	28,9	37,3	37,5
0	1	32,1	31,8	30,0	31,9	33,0
	2	34,5	35,2	32,7	37,8	38,1

Таблица 3

Оценка помехоустойчивости при потере пакетов данных во время передачи видеопоследовательности

Потеря пакета, байт	Фрагмент	Оценка PSNR, дБ			
		MPEG-4	DivX511	H.263	Chirplet
64	1	14,5	16,7	14,1	27,2
	2	15,7	17,2	16,1	28,4
16	1	21,0	20,1	19,8	28,9
	2	24,9	23,7	22,9	31,0
4	1	29,7	28,1	27,9	31,8
	2	29,9	29,0	28,4	37,5
0	1	32,1	31,8	30,0	31,9
	2	34,5	35,2	32,7	37,8

Таблица 4

Оценка помехоустойчивости при потере синхронизации данных во время передачи группы кадров

Сдвиг, байт	Фрагмент	Оценка PSNR, дБ				
		MPEG-4	DivX511	H.263	Chirplet	
					внутрикадр.	межкадр.
64	1	11,0	11,9	10,8	24,1	17,9
	2	11,7	12,5	11,9	24,9	19,0
16	1	11,0	11,9	10,8	25,9	19,1
	2	11,7	12,5	11,9	26,1	20,4
4	1	11,0	11,9	10,8	28,0	21,7
	2	11,7	12,5	11,9	29,4	24,1
0	1	32,1	31,8	30,0	31,9	31,9
	2	34,5	35,2	32,7	37,8	37,8

I. N. Tulskiy

**NEW POSSIBILITIES OF MODERN 3G AND 4G RADIO NETWORKS,
AT USAGE OF ALTERNATIVE METHODS OF MULTIMEDIA
INFORMATION COMPRESSION**

The author considers alternative methods of a multimedia information compression. Comparative analysis of already existing codecs and algorithms is carried out in comparison with offered by the author. Algorithms of compression and information restoration in modern radio networks are offered. And problem of lacks of existing algorithms of a multimedia information compression is considered by the author as well.

Keywords: radio networks, compression, multimedia, wavelet, chirplet, codec.

© Тульский И. Н., 2011

УДК 62-83:621.313.333

А. А. Федоренко, Э. Н. Лазовский

**ОБОБЩЕННЫЙ (РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЙ) ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ВЕКТОР ПЛОСКОЙ
ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНЕЙНО НЕЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ СИГНАЛОВ**

Уточнено понятие результирующего вектора для плоской трехфазной системы сигналов. Приведены соотношения, связывающие мгновенные значения фазных сигналов с координатами обобщенного вектора в трехмерной декартовой и цилиндрической координатных системах.

Ключевые слова: трехфазный сигнал, обобщенный (результирующий) вектор, координатные системы, координатные преобразования.

В электротехнике трехфазную систему сигналов принято рассматривать в плоской системе координат, характеризуемой тремя сдвинутыми на плоскости под углом 120° ($2\pi/3$) осями a, b, c . При математическом описании и анализе процессов в многофазных электрических, электромагнитных и электромеханических системах широкое распространение получило понятие обобщенного (результирующего) вектора многофазной системы сигналов. При этом мгновенные значения фазных величин рассматриваются как проекции этого вектора на оси плоской системы координат [1].

Из математики известно, что положение вектора на плоскости определяется его двумя координатами, например декартовыми. Трехфазная система координат может характеризовать положение вектора на плоскости только в том случае, если фазные величины линейно зависимы, т. е. когда выполняется условие

$$u_a + u_b + u_c = 0,$$

и, следовательно, одна величина однозначно определяется значениями двух других. Именно такой подход к рассмотрению понятия обобщенного вектора получил в настоящее время наибольшее распространение в технической литературе, когда авторы либо изначально считают переменные трехфазной системы линейно зависимыми, либо искусственно обеспечивают эту зависимость (например, отсутствием нулевого провода, установкой специальных регуляторов и т. д.).

В общем случае в линейно независимой трехфазной системе сигналов результирующий вектор необходимо изначально рассматривать как вектор, опре-

деляемый тремя независимыми координатами, т. е. как вектор трехмерного пространства.

Такой подход предложен в [2], где обобщенный вектор характеризуется проекциями на оси пространственной (трехмерной) декартовой системы координат, равными мгновенным значениям соответствующих фазных величин, что предполагает отказ от плоских трехфазных систем координат в пользу трехмерных декартовых. Это обеспечивает математически строгое описание и анализ процессов в многофазных цепях на основе понятия результирующих векторов. Однако при этом подходе теряется связь с традиционно принятыми в электротехнике плоскими координатными системами, имеющими весьма прозрачную физическую интерпретацию, согласно которой оси трехфазной плоской координатной системы – это проекции магнитных осей обмоток трехфазных индукционных источников и потребителей электрической энергии на плоскость их поперечного сечения.

В данной статье предлагается совместить эти два подхода, введя в соответствие плоской трехфазной системе сигналов u_a, u_b, u_c (рис. 1) некоторый пространственный вектор \bar{U} , характеризуемый координатами $u_{\alpha_1}, u_{\beta_1}, u_{\gamma_1}$ (рис. 2).

Для того чтобы вектор \bar{U} однозначно определял трехфазную систему сигналов и наоборот, необходимо задать взаимное расположение плоскости трехфазных сигналов и осей трехмерной координатной системы и в результате установить аналитическую связь

между мгновенными значениями трехфазной системы сигналов и координатами этого вектора.

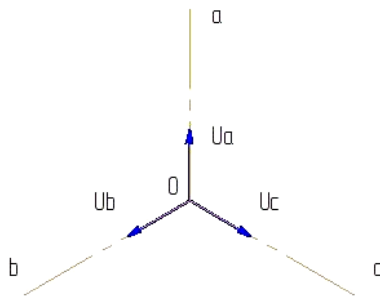


Рис. 1

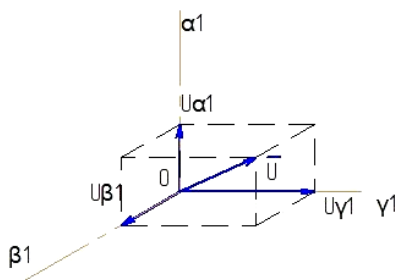


Рис. 2

Совместим начало координат трехмерной системы с точкой O плоскости, а саму плоскость ориентируем в пространстве так, чтобы нормаль к ней из точки O образовала с осями $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ равные углы (рис. 3). При этом направляющие косинусы нормали $ON \cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3 = \frac{1}{\sqrt{3}}$. При таком положении плоскости отображения на нее осей $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ из любой точки, лежащей на нормали ON , дают систему трех смещенных относительно друг друга на угол 120° и пересекающихся в точке O осей, т. е. образуют плоскую систему координат a, b, c трехфазных сигналов u_a, u_b, u_c .

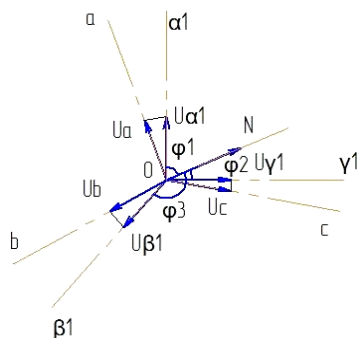


Рис. 3

Считая координаты вектора \bar{U} проекциями соответствующих фазных величин на оси $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ (см. рис. 3), можно записать:

$$\begin{aligned} u_\alpha &= u_a \sin \varphi_1 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_a, \\ u_\beta &= u_b \sin \varphi_2 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_b, \\ u_\gamma &= u_c \sin \varphi_3 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_c. \end{aligned} \quad (1)$$

В векторно-матричной форме уравнения (1) имеют вид

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_\gamma \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $u_{\alpha_1}, u_{\beta_1}, u_{\gamma_1}$ – координаты обобщенного вектора \bar{u} ; u_a, u_b, u_c – мгновенные значения фазных величин; $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ – множитель, определяемый соотношением

$$\sin \varphi_i = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i}, \quad i = 1, 2, 3; \quad E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \text{единичная квадратная матрица, каждая строка которой – это координаты единичных направляющих векторов осей } \alpha_1, \beta_1, \gamma_1 \text{ трехмерного пространства.}$$

Уравнения (1), (2) и рис. 3 наглядно показывают физическую сущность представления трехфазной плоской системы сигналов обобщенным (результующим) пространственным вектором. Однако на практике удобнее пользоваться пространственными координатными системами, оси которых ориентированы определенным образом относительно магнитных и геометрических осей индукционных источников и потребителей энергии. Поэтому в качестве базовой целесообразно рассматривать координатную систему α, β, γ , ось α которой совмещена с осью фазы a , а ось γ – с нормалью ON . Тогда ось β будет расположена в плоскости трехфазной системы сигналов под углом $\pi/2$ относительно оси α по направлению порядка чередования фаз (рис. 4). Таким образом, оси α, β будут расположены в плоскости поперечного сечения, т. е. в плоскости магнитных осей индукционных преобразователей энергии, а ось γ – вдоль оси вала их ротора.

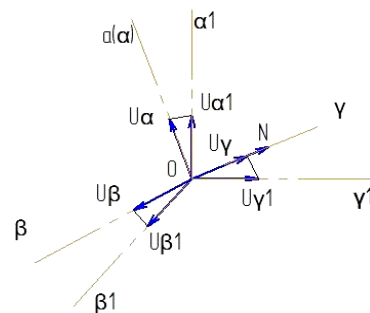


Рис. 4

Путем несложных геометрических построений можно доказать, что координаты вектора \bar{U} в системе α, β, γ связаны с координатами этого вектора в системе $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ соотношениями

$$\begin{aligned} u_\alpha &= \frac{\sqrt{2}}{3} u_{\alpha_1} - \frac{1}{\sqrt{6}} u_{\beta_1} - \frac{1}{\sqrt{6}} u_{\gamma_1}, \\ u_\beta &= 0 + \frac{1}{\sqrt{2}} u_{\beta_1} - \frac{1}{\sqrt{2}} u_{\gamma_1}, \\ u_\gamma &= \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\alpha_1} + \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\beta_1} - \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\gamma_1}. \end{aligned} \quad (3)$$

В векторно-матричной форме это преобразование имеет вид

$$\bar{U}_{(\alpha, \beta, \gamma)} = A_1 \bar{U}_{(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)}, \quad (4)$$

где A_1 – матрица координатного преобразования вектора \bar{u} из исходной в новую трехмерную систему координат:

$$A_1 = \begin{vmatrix} \frac{\sqrt{2}}{3} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Подставив уравнения (1) в уравнения (3), получим формулы прямого вычисления координат вектора \bar{U} в системе α, β, γ непосредственно по значениям трехфазных сигналов:

$$\begin{aligned} u_\alpha &= \frac{2}{3} u_a - \frac{1}{3} u_b - \frac{1}{3} u_c, \\ u_\beta &= 0 \cdot u_a + \frac{1}{\sqrt{3}} u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} u_c, \\ u_\gamma &= \frac{\sqrt{2}}{3} u_a + \frac{\sqrt{2}}{3} u_b + \frac{\sqrt{2}}{3} u_c, \end{aligned} \quad (6)$$

или в векторно-матричной форме:

$$\bar{U}_{(\alpha, \beta, \gamma)} = A \begin{vmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где A – матрица прямого координатного преобразования системы трехфазных сигналов в проекции результирующего вектора на оси декартовой трехмерной системы координат α, β, γ :

$$A = \begin{vmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{2}}{3} \end{vmatrix}.$$

Описание процессов в индукционных преобразователях энергии для случая линейно зависимой трехфазной системы сигналов достаточно часто выполняются в полярных координатах, где результирующий вектор характеризуется модулем $|\bar{U}|$ и углом его сдвига φ относительно полярной оси в плоскости поперечного сечения машины.

Применительно к системе линейно независимых трехфазных сигналов необходимо вести речь о цилиндрической системе координат, которая, так же как и декартова трехмерная система, хорошо вписывается в геометрию трехфазных индукционных преобразователей энергии. В этом случае результирующий вектор характеризуется полярными координатами: модулем $|\bar{U}_{\alpha\beta}|$ и углом сдвига φ относительно полярной оси проекции $\bar{U}_{\alpha\beta}$ вектора \bar{U} на плоскость поперечного сечения электрической машины и его проекцией u_γ на ось γ , перпендикулярную этой плоскости.

Переход от декартовых координат к цилиндрическим и наоборот при совмещении полярной оси с осью фазы a можно осуществить по формулам

$$|\bar{U}_{\alpha\beta}| = \sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2},$$

$$\varphi = \arctg \frac{u_\alpha}{u_\beta},$$

$$u_\gamma = u_\gamma.$$

Эти формулы позволяют записать связи цилиндрических координат результирующего вектора непосредственно с мгновенными значениями трехфазных сигналов:

$$|\bar{U}_{\alpha\beta}| = \frac{2}{3} \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2 - u_a u_b - u_a u_c - u_b u_c},$$

$$\varphi = \arctg \sqrt{3} \left(\frac{u_b - u_c}{2u_a - u_b - u_c} \right), \quad (9)$$

$$u_\gamma = \frac{\sqrt{2}}{3} (u_a + u_b + u_c).$$

Отметим, что уравнения (6), (7), (8) полностью совпадают с уравнениями, приведенными в [2], однако они получены с использованием плоской трехфазной системы координат. Кроме того, здесь, в отличие от [1; 2], не пришлось искусственно вводить масштабирующий множитель $2/3$. Он автоматически появляется в результате геометрических построений.

Из сравнения третьих уравнений (6) и (9) также следует, что координата u_γ вектора \bar{u} не зависит от вида используемой системы координат. Она не изменится и не отразится в других координатах вектора \bar{U} , если координатным системам придать вращение вокруг оси γ . Кроме того, эта координата не участвует в электромеханическом преобразовании энергии. По-

этому при анализе переходных процессов в электро-механических системах с учетом электромагнитных явлений эта составляющая, согласно [2], может рассматриваться отдельно либо, если в этом нет необходимости, не рассматриваться вовсе.

Представленные выше геометрические построения преобразуют плоскую линейно независимую трехфазную систему сигналов в две подсистемы линейно зависимых сигналов.

Первая подсистема одномерная и с учетом третьего уравнения системы (6) определяется сигналом u_γ , пропорциональным, согласно терминологии, принятой в электротехнике [3], составляющей нулевой последовательности $u_\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} u_0$.

Вторая подсистема двумерная и задается координатами u_α и u_β , которые характеризуют трехфазную систему сигналов ненулевой последовательности $u_{a_1}, u_{b_1}, u_{c_1}$. Эти сигналы могут быть определены по первым двум уравнениям системы (6) после замены в них переменных u_a, u_b, u_c на $u_{a_1}, u_{b_1}, u_{c_1}$ с учетом условия $u_{a_1} + u_{b_1} + u_{c_1} = 0$.

Таким образом, проекцию $\bar{U}_{\alpha\beta}$ обобщенного (результатирующего) вектора \bar{U} на плоскость поперечного сечения электрической машины правильнее называть обобщенным (результатирующим) вектором составляющих ненулевой последовательности трехфазной системы сигналов. Это понятие совпадает с общим понятием «результатирующий вектор трехфазной системы сигналов» только в частном случае, когда $u_\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} u_0 = 0$.

В заключение сделаем следующие выводы:

– предложенный в данной статье подход позволил распространить понятие обобщенного (результатирующего) вектора на трехфазную плоскую линейно независимую систему сигналов, что в свою очередь позволяет при описании процессов в таких трехфазных цепях использовать компактные векторно-матричные представления;

– при выводе уравнений, связывающих координаты обобщенного вектора с мгновенными значениями трехфазных сигналов, отпадает необходимость искусственного введения масштабирующего множителя $2/3$, согласующего модуль результирующего вектора с амплитудными значениями фазных величин. Этот множитель автоматически появляется в результате геометрических построений;

– описание процессов с помощью пространственных результирующих векторов возможно не только в трехмерной декартовой системе координат, но и в цилиндрической системе координат, благодаря чему получены уравнения, связывающие цилиндрические координаты вектора с мгновенными значениями трехфазной линейно-независимой системы сигналов.

Библиографические ссылки

1. Усольцев А. А. Частотное управление асинхронными двигателями : учеб. пособие / С.-Петерб. ун-т информ. технологий, механики и оптики. СПб., 2006.
2. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Урал. отд-ние Рос. акад. наук. Екатеринбург, 2000.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М. : Высш. шк., 1967.

A. A. Fedorenko, Ed. N. Lazovskiy

GENERALIZED (COMPOSITE) SPACE VECTOR FOR A FLAT THREE-PHASE LINEARLY INDEPENDENT SYSTEM OF SIGNALS

In the article the authors specify concept of composite vector for flat three-phase system of signals and give relators connecting instantaneous data of phase signals to coordinates of generalized vector in 3-D rectangular and cylindrical coordinate system.

Keywords: three-phase signal, generalized (composite) vector, coordinate systems, coordinate transformations.

© Федоренко А. А., Лазовский Э. Н., 2011

SOLVABILITY OF AN INITIAL-BOUNDARY PROBLEM FOR A LOADED WAVE EQUATION

Solvability of an initial-boundary problem for a loaded wave equation is proved. The proof of the solution uniqueness is based on the a priori estimate of the solution. A sequence of Galerkin approximations is constructed for the solution existence to be proved.

Keywords: loaded wave equation, uniqueness, solution existence.

A loaded equation is an equation with partial derivatives that contain the values of functionals of the sought function. Such equations are encountered in modeling certain physical processes [1] and also in solving inverse problems of mathematical physics [2; 3].

Let us consider the following initial-boundary problem for the function $u(x, t)$, $(x, t) \in \bar{Q} : [0, l] \times [0, T]$:

$$u_{tt} - u_{xx} - b(x, t) \int_0^T (T - \tau) u_{xx}(x, \tau) d\tau = c(x, t), \quad (1)$$

$$u(x, 0) = p(x), \quad u_t(x, 0) = n(x), \quad (2)$$

$$u(0, t) = u(l, t) = 0, \quad (3)$$

$$p(0) = n(0) = p(l) = n(l) = 0. \quad (4)$$

Here, $b(x, t)$, $c(x, t)$, $p(x)$, and $n(x)$ are specified functions.

To obtain an *a priori* estimate of the solution, we multiply Eq. (1) by u_t and integrate the result with respect to x from 0 to l :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \|u_t\|^2 + \frac{1}{2} \|u_x\|^2 \right) = (U_x, bu_t) + (c, u_t). \quad (5)$$

Here, $\|\cdot\|$ and (\cdot, \cdot) are the norm and the scalar product in $L_2(0, l)$,

$$U = U(x) = \int_0^T (T - \tau) u_x(x, \tau) d\tau. \quad (6)$$

By virtue of conditions (3), we have

$$(U_x, bu_t) = -(U, b_x u_t + bu_{tx}). \quad (7)$$

Integrating Eq. (5) with allowance for Eqs. (2) and (7) from 0 to t , we obtain

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \|u_t\|^2 + \frac{1}{2} \|u_x\|^2 &= C_1 + \int_0^t (c, u_t) dt - \\ &- \int_0^t (U, b_x u_t) dt - \int_0^t (U, bu_{tx}) dt. \end{aligned} \quad (8)$$

Here,

$$C_1 = \frac{1}{2} \|n(x)\|^2 + \frac{1}{2} \left\| \frac{dp(x)}{dx} \right\|.$$

The following equality is valid:

$$\begin{aligned} \int_0^t (U(x), b(x, \tau) u_{tx}(x, \tau)) d\tau &= (U(x), u_x(x, t) b(x, t)) - \\ &- (U(x), u_x(x, 0) b(x, 0)) - \int_0^t (U(x), u_x(x, \tau) b_t(x, \tau)) d\tau. \end{aligned} \quad (9)$$

The following estimates are obtained:

$$\begin{aligned} |U(x)| &< 3^{-1/2} T^{3/2} \left(\int_0^T u_x^2(x, \tau) d\tau \right)^{1/2}, \\ \left| \int_0^t (c, u_t) dt \right| &\leq \int_0^t \left(\frac{1}{2\varepsilon} \|c\|^2 + \frac{\varepsilon}{2} \|u_t\|^2 \right) dt, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\left| (U(x), u_x(x, t) b(x, t)) \right| \leq B \left(\frac{1}{2T} \|U\|^2 + \frac{T}{2} \|u_x\|^2 \right).$$

Here, ε is an arbitrary positive number and B is the maximum value of $|b(x, t)|$ in \bar{Q} . Taking into account Eqs. (9), (10), and (8), we obtain

$$\begin{aligned} \|u_t\|^2 + \|u_x\|^2 &< C_2 + BT \|u_x\|^2 + \\ &+ \alpha T^2 \int_0^T \|u_t\|^2 dt + \beta T^2 \int_0^T \|u_x\|^2 dt. \end{aligned} \quad (11)$$

Here, the positive constants α , β , and C_2 depend on the maximum values of $|b(x, t)|$, $|b_t(x, t)|$, and $|b_x(x, t)|$ in \bar{Q} . Integrating Eq. (11) with respect to t from 0 to T , we obtain

$$(1 - \alpha T^3) \int_0^T \|u_t\|^2 dt + (1 - BT - \beta T^3) \int_0^T \|u_x\|^2 dt < C_2 T. \quad (12)$$

Under the conditions

$$(1 - \alpha T^3) \geq \delta_1 > 0, \quad 1 - BT - \beta T^3 \geq \delta_2 > 0, \quad (13)$$

where δ_1 and δ_2 are arbitrarily small fixed positive numbers, we obtain the sought *a priori* estimate

$$\int_0^T \|u_t\|^2 dt < \text{const}, \quad \int_0^T \|u_x\|^2 dt > \text{const}. \quad (14)$$

This estimate means that u is bounded in the space $W_2^1(Q)$ of functions that have generalized first-order derivatives integrated with a square.

Estimate (14) immediately yields the theorem of the solution uniqueness, because the constants in Eq. (14) should be equal to zero for different solutions to exist.

The solution existence is proved with the Galerkin method. We seek for the Galerkin approximation in the form

$$u^m(x, t) = \sum_{k=1}^m q_{mk}(t) v_k(x),$$

where $v_k(x)$, $k = 1, 2, \dots$ is the basis and $q_{mk}(0) = p_k$, $q'_{mk}(0) = n_k$, where m_k , n_k , $k = 1, 2, \dots$ are the coefficients of the expansion of the functions $p(x)$ and $n(x)$ in the basis $v_k(x)$. The basis is found by solving the problem

$$v_k''(x) + \mu_k v_k(x) = 0, \quad v_k(0) = v_k(l) = 0,$$

where μ_k are eigenvalues. Obviously, this basis has the form

$$v_k(x) = \sin \frac{\pi k x}{l}, \quad \mu_k = \frac{\pi^2 k^2}{l^2}, \quad k = 1, 2, \dots$$

From the condition of orthogonality, we obtain a system of ordinary differential equations for the functions $q_{mk}(t)$

$$\left(u_t^m - u_{xx}^m - \int_0^T (T - \tau) u_{xx}^m(x, \tau) d\tau - c, v_k \right) = 0, \quad (15)$$

which has to be solved under the conditions

$$q_{mk}(0) = p_k, \quad q'_{mk}(0) = n_k. \quad (16)$$

After the same considerations as those performed for obtaining the *a priori* estimate (14), we obtain

$$\int_0^T \|u_t^m\| dt < C_1, \quad \int_0^T \|u_x^m\| dt < C_2,$$

where the constants C_1 and C_2 are independent of m . From this estimate, there follows that the system of ordinary equations (15) with conditions (16) is solvable and that it is possible to choose a subsequence from the Galerkin approximations, which converges to a certain function, which is a solution of the initial problem.

Thus, a theorem follows from here. Let

$$c(x, t) \in L_2(Q), \quad b(x, t) \in L^\infty(Q),$$

$$b_x(x, t) \in L^\infty(Q), \quad b_t(x, t) \in L^\infty(Q),$$

$$m(x) \in \overset{\circ}{W}_2^1(Q), \quad n(x) \in L_2(Q)$$

and condition (13) be satisfied. Then, there exists a unique solution of problem (1–4), and

$$u \in L_2(0, T), \quad \overset{\circ}{W}_2^1(0, l), \quad u_t \in L_2(Q).$$

To conclude, we should note that a similar theorem is also valid if we take for $0 \leq t \leq T$ $u = u(x, y, t)$, $(x, y) \in G$; $u = 0$, $(x, y) \in \partial G$, replace u_{xx} in Eq. (1) by the Laplace operator Δu , and replace the functions $b(x, t)$ and $c(x, t)$ by $B(x, y, t)$ and $C(x, y, t)$. The basis $v_k = v_k(x, y)$ and eigenvalues μ_k , $k = 1, 2, \dots$ are determined in this case by solving the following problem:

$$\Delta v_k + \mu v_k = 0, \quad (x, y) \in G, \quad v_k|_{\partial G} = 0.$$

An initial-boundary problem for a one-dimensional (in terms of the spatial variable) loaded wave equation is considered. This equation contains a functional of the sought function. An *a priori* estimate of the solution is obtained, which is used to prove the solution uniqueness. A sequence of Galerkin approximations is constructed; a converging subsequence that is a solution of the initial problem is chosen from this sequence. The results of this paper can be used to justify the correctness of models of some physical processes and to solve inverse problems of mathematical physics.

References

1. Nakhushev A. M. Loaded differential equations and their applications // *Dif. Uravn.* 1983. Vol. 19. № 1. P. 86–94.
2. Frost M. B. Uniqueness of the solution of an inverse problem of determining the source of oscillations of an elastic body // *Sib. Zh. Industr. Mat.* 1998. Vol. 1. № 2. P. 199–2001.
3. Kozhanov A. I. One nonlinear loaded parabolic equation and related inverse problem // *Mat. Zametki.* 2004. Vol. 76. № 6. P. 840–853.

М. Б. Фрост

РАЗРЕШИМОСТЬ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩЕГО ВОЛНУ НАГРУЖЕНИЯ

Доказана разрешимость начально-краевой задачи для уравнения, описывающего волну нагружения. Доказательство единственности базируется на априорных оценках решения. Построена последовательность Галеркина, которая позволила доказать существование решения.

Ключевые слова: уравнение, описывающее волну нагружения, единственность и существование решения.

© Frost M. B., 2011

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ*

Рассмотрена задача выбора структуры автоматизированной системы управления космической системы. Предложены модель и метод выбора пунктов управления космическими аппаратами, позволяющие эффективно формировать оптимальный по составу и расположению комплекс пунктов управления АСУ космической системы.

Ключевые слова: космическая система, топологическая структура, автоматизированная система управления.

Современные автоматизированные системы управления (АСУ), в том числе АСУ космических систем, представляют собой сложные системы, характеризующиеся комплексным взаимодействием элементов, рассредоточенных на значительной территории, включая космическое пространство, и требующих для своего развития существенных затрат ресурсов и времени.

Важнейшей проблемой, возникающей при анализе и синтезе подобных систем, является структурное построение системы управления, во многом определяющее свойства системы и характеристики ее функционирования. Разработка структуры системы при создании новых или совершенствовании существующих АСУ космических систем требует решения таких задач, как выбор существующих или создание новых пунктов управления космическими аппаратами, определение топологической структуры системы управления [1].

Однако при формировании структуры АСУ космических систем возникает неопределенность, обусловленная динамикой объекта управления при функционировании системы управления. Эта задача ввиду наличия неопределенности относится к задачам, требующим поддержки принятия решений, при которой информация преобразуется к виду, упрощающему и облегчающему принятие решений.

В информационных технологиях принятием решений считают выбор решений в условиях определенности, позволяющих выбрать однозначные, непротиворечивые, корректные решения на основе формализованных моделей объектов управления и окружающей их среды.

Для решения задачи структурного построения АСУ космической системы необходимо создание модельно-алгоритмических средств выбора пунктов управления космическими аппаратами, что требует разработки имитационных процедур принятия решений при формировании системы управления космической системы.

Топологическая структура АСУ космической системы определяет взаимное расположение и количест-

во пунктов управления (ПУ) для заданных классов космических аппаратов (КА) [2]. Задача формирования топологической структуры комплекса ПУ КА заключается в следующем: для заданных множеств КА различных классов $E_{КА}$, множества участков возможной доступности L , графика движения G_k и программы работ P_k КА каждого класса необходимо найти минимальную по затратам на создание совокупность ПУ, чтобы при этом выполнялись требования к управляемости и коэффициенту доступности для заданных классов КА, загрузке ПУ, специальные требования к системе (например, доступность на одном витке КА не менее чем для двух ПУ, минимально допустимое время нахождения КА в зоне какого-либо ПУ и т. д.). В результате решения данной задачи определяется, какие ПУ необходимы в системе и с какими классами КА они будут взаимодействовать.

Для формализации задачи формирования топологической структуры АСУ космической системы дополнительно введем следующие обозначения: θ_{kl} – время доступности КА k -го класса на l -м участке возможной доступности; c_j – затраты на создание j -го ПУ; $\tau_{k \min}$ – минимально допустимая продолжительность одного сеанса связи для КА k -го класса; R_k – минимальное число ПУ, необходимых для управления КА k -го класса; L_{uk} – множество смежных участков доступности из L_k с непрерывным временем доступности для КА k -го класса; H_k – коэффициент доступности КА k -го класса, который определяется отношением общего времени доступности КА k -го класса $\tau_k = \sum_{j \in J_k} \tau_{kj}$ ко времени нахождения КА k -го класса над заданной территорией.

Введем переменные:

$$z_j = \begin{cases} 1, & \text{если в системе будет использован } j\text{-й ПУ;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$y_l = \begin{cases} 1, & \text{если в системе будет использован} \\ & l\text{-й участок возможной доступности;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

*Исследования выполнены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Модель формирования топологической структуры системы имеет вид

$$\sum_{j \in J} c_j z_j \rightarrow \min \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

– на коэффициент доступности для каждого класса КА:

$$\sum_{l \in L_k} \theta_{kl} y_l / \tau_k \geq H_k; \quad k \in K; \quad (2)$$

– на минимальное количество ПУ, необходимых для управления каждым классом КА:

$$\sum_{j \in J} z_j \geq R_k, \quad k \in K; \quad (3)$$

– на минимальную продолжительность сеанса связи для КА k -го класса:

$$\sum_{l \in L_{uk}} \theta_{kl} y_l \geq \tau_{k \min}; \quad (4)$$

– на связь между переменными:

$$\sum_{j \in J_l} z_j \geq y_l \geq (1/|J_l|) \sum_{j \in J_l} z_j, \quad l \in L. \quad (5)$$

Аналитическая часть задачи формирования, определяемая выражениями (1)–(5), представляет собой линейную целочисленную модель математического программирования, и варианты структуры АСУ космической системы могут быть получены с помощью известных методов [3]. Выражения (2)–(5) задают множество аналитически заданных ограничений β' . Множество алгоритмически заданных ограничений β'' задается при ограничениях на управляемость каждого класса КА и на загрузку пунктов управления. При проверке на допустимость по алгоритмически заданным атрибутам в качестве параметров имитационной модели выступают вариант комплекса ПУ КА X_i , программы работ КА каждого класса P_k , объем информации, передаваемый за время осуществления управляющего взаимодействия между КА k -го класса и ПУ ξ_{kn} , N_k – количество КА k -го класса, график движения КА k -го класса G_k .

Для решения задачи синтеза топологической структуры комплекса наземных пунктов управления АСУ космической системы, содержащей аналитически и алгоритмически заданные ограничения, разработана и программно реализована процедура, которая заключается в направленном переборе множества вариантов структуры, использующем схему «ветвей и границ» [4], и последующей проверке их принадлежности множеству β' , осуществляемой с помощью имитационной модели.

Процесс поиска оптимального варианта структуры АСУ космической системы \bar{X}^{opt} можно представить в виде дерева вариантов, в котором нулевая вершина соответствует оптимальному решению \tilde{X}_0 , а каждая из вершин, связанных с ней ребрами, соответствует другому ее решению при дополнительном условии,

что переменной $x_k^{m,n}$ придано конкретное значение $x_k^{m,n} = \{0, 1\}$.

Каждой из вершин дерева соответствует оценка $\gamma_k^{m,n}$, равная оптимальному значению целевой функции для соответствующей задачи. Необходимость в дальнейшем ветвлении вершины возникает в случае невыполнения условий целочисленности, при этом на следующем шаге ветвления выбирается вершина с наименьшей оценкой.

Каждая конечная вершина дерева соответствует варианту структуры АСУ космической системы $\bar{X}_k \in \beta'$, который с помощью имитационной модели проверяется на выполнение алгоритмически заданных ограничений. Процесс продолжается до тех пор, пока дальнейшее ветвление становится невозможным. Оптимальный вариант структуры \bar{X}^{opt} соответствует конечной вершине, удовлетворяющей алгоритмически заданным ограничениям и имеющей наименьшую оценку γ_{\min} .

Для данной процедуры характерны следующие особенности.

1. Разбиение множеств (ветвление). Правило выбора переменной для дальнейшего ветвления состоит в следующем. Для каждой из переменных $x_k^{m,n} \in \tilde{X}_n^m (k = \overline{1, K_n^m})$, принявших нецелочисленное значение, вычисляются значения целевой функции $f_0(\tilde{X}_{n,0}^m)$ и $f_1(\tilde{X}_{n,1}^m)$ соответственно при значениях $x_k^{m,n} = 0$ и $x_k^{m,n} = 1$. Для дальнейшего разбиения выбирается переменная, которая обеспечивает наибольшую абсолютную разность между полученными значениями целевой функции, т. е.

$$\max \left\{ \Delta_k^{m,n} = \left(f_1(\tilde{X}_{n,1}^m) - f_0(\tilde{X}_{n,0}^m) \right) \left(k = \overline{1, K_n^m} \right) \right\},$$

и ей присваивается значение, дающее наименьшее возрастание целевой функции.

2. Вычисление оценок (нижних границ). Для начального множества $\tilde{\beta}_0$ оценка значения целевой функции снизу $\gamma(\tilde{\beta}_0) = f(\tilde{X}_0)$, где \tilde{X}_0 – оптимальное решение оценочной задачи линейного программирования. Для множества $\tilde{\beta}_n^m$ оценка $\gamma(\tilde{\beta}_n^m) = f(\tilde{X}_n^m)$, где \tilde{X}_n^m – оптимальное решение оценочной задачи, $\tilde{X}_n^m \in \tilde{\beta}_n^m$, $\gamma(\tilde{\beta}_n^m) = \infty$.

Рассмотрим пример формирования АСУ космической системы, которая включает совокупность наземных пунктов управления, осуществляющих управление КА трех классов $E_{\text{КА}} = \{E_{\text{КА}}^k / k = \overline{1, 3}\}$, имеющих геосинхронные орбиты с постоянными периодами обращения.

Задана следующая исходная информация: множество возможных ПУ $E_{\text{ПУ}} = \{e_j / j = \overline{1, 9}\}$; затраты на

создание j -го ПУ; множество участков возможной доступности и время доступности КА k -го класса на l -м участке θ_{kl} (табл. 1); количество КА каждого класса $N_k (k = \overline{1,3})$ и множество возможных ПУ для каждого класса КА $m_k (k = \overline{1,3})$; продолжительность доступности КА k -го класса j -му возможному ПУ $\tau_{kj} (k = \overline{1,3}, j = \overline{1,9})$ (табл. 2).

График движения k -го класса, учитывающийся в имитационной модели, определяется массивами, элементы которых определяют соответственно порядок прохода КА через зоны доступности ПУ, продолжительность нахождения КА в зонах доступности каждого ПУ и нахождения вне зон доступности при переходе от одного ПУ к другому, если между зонами доступности соседних ПУ нет разрыва (табл. 3).

Программа работ КА k -го класса $\Pi_k (k = \overline{1,3})$ задается периодичностью осуществления управляющего взаимодействия n -го типа, его продолжительностью и приоритетом. Рассматриваются два типа управляющих взаимодействий. Управляющее взаимодействие 1-го типа имеет 1-й приоритет, время его осуществления является случайной величиной с нормальным законом распределения и математическим ожиданием, равным 3,5 мин, стандартным отклонением 0,4 мин, максимальным значением 5 мин, минимальным значением 2 мин. Управляющее взаимодействие 2-го типа имеет 2-й приоритет, продолжительность которого также нормально распределена с математическим ожиданием, равным 2 мин, стандартным отклонением 0,25 мин, максимальным значением 3 мин, минималь-

ным значением 1 мин. Периодичность осуществления управляющих взаимодействий n -го типа для КА всех классов приведена в табл. 4.

Кроме того, заданы ограничения на глобальность $H_k (k = \overline{1,3})$, минимальное количество пунктов управления, необходимых для управления КА k -го класса $M_k (k = \overline{1,3})$, минимальную продолжительность управляющего взаимодействия для КА k -го класса $\tau_{kmin} (k = \overline{1,3})$ и на управляемость каждого класса КА $\omega_k^{до} (k = \overline{1,3})$ (табл. 5), а также заданы ограничения на загрузку каждого ПУ $U_j^{non} (j = \overline{1,9})$.

Оптимальный вариант топологической структуры рассматриваемой АСУ космической системы, полученный с помощью имитационной процедуры, приведен в табл. 6, где показан оптимальный состав пунктов управления и используемые участки доступности. Общая стоимость создания варианта составила 15 усл. ед.

Решение задач исследования устойчивости полученного оптимального варианта топологической структуры АСУ космической системы позволило определить потенциальные возможности развития системы без изменения ее структуры и при выполнении требований к качеству ее функционирования.

В частности, решалась задача определения возможности одновременного увеличения числа КА 1-го класса и продолжительности управляющих взаимодействий 1-го типа при выполнении требований к управляемости КА и загрузке ПУ.

Таблица 1

Время доступности космических аппаратов на участках возможной доступности, мин

Класс КА	Участки возможной доступности L_k																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	6	2,0	5	2,5	7,5	5	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	–	–	–	–	9	3	5	6	1	9	–	–	–	–	–
3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,5	1,5	6	1,5	5,5

Таблица 2

Продолжительность нахождения космических аппаратов в зонах доступности, мин

Класс КА	Пункты управления								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	8	–	10	–	5	7	9	–	–
2	–	12	6	9	–	–	–	–	7
3	–	–	–	8	7	–	–	9	–

Таблица 3

Данные по графикам движения различных классов космических аппаратов

Порядок прохождения КА k -го класса по пунктам управления			Продолжительность нахождения в зонах доступности, мин			Продолжительность нахождения вне зон доступности, мин		
$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$
2	4	6	8	12	8	0	0	0
7	9	8	10	7	9	0	1	0
3	3	5	10	6	7	0	6	0
5	4	0	5	9	0	0,5	10	155
6	0	0	7	0	0	121	0	0

Таблица 4

Периодичность осуществления управляющих взаимодействий

Класс КА	Тип управляющих взаимодействий	
	1-й	2-й
1	3	5
2	3	7
3	4	5

Таблица 5

Ограничения на классы космических аппаратов

Класс КА	Ограничения			
	H_k	M_k	τ_{kmin} , мин	$\omega_k^{доп}$
1	0,7	4	2	0,95
2	0,8	2	1	0,8
3	0,7	2	1	0,8

Таблица 6

Оптимальный вариант топологической структуры АСУ космической системы

Класс КА	Участки возможной доступности L_k	Пункты управления
1	{P ₁ , P ₂ , P ₄ , P ₅ , P ₆ , P ₇ }	{ПУ1, ПУ3, ПУ5, ПУ6}
2	{P ₈ , P ₁₁ , P ₁₃ }	{ПУ2, ПУ3, ПУ4}
3	{P ₁₄ , P ₁₇ , P ₁₈ }	{ПУ4, ПУ5}

Для решения данной задачи исследовались два функциональных параметра: N_1 – количество КА 1-го класса и T_1 – средняя продолжительность управляющих взаимодействий 1-го типа, а качество функционирования системы оценивалось по управляемости КА 1-го класса ω_1 и загрузке ПУ $U_j (j = \overline{1,3})$. В качестве интервалов возможных значений исследуемых параметров были выбраны $L_1 = [N_1^{баз}, N_1^{max}] = [30; 45]$ и $L_2 = [T_1^{баз}, T_1^{max}] = [3,5; 6,5]$.

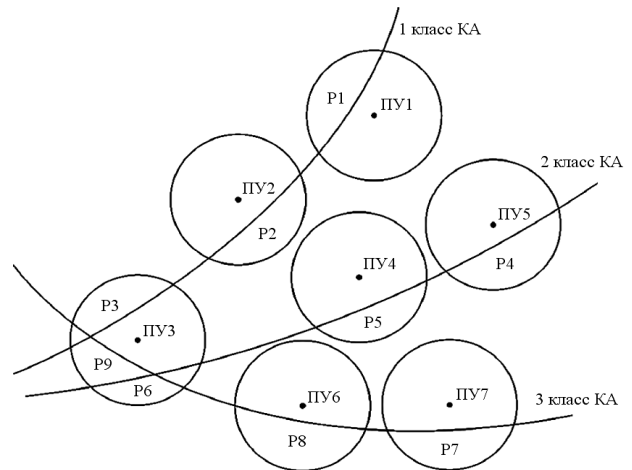
Базовые значения функциональных параметров $N_1^{баз}$ и $T_1^{баз}$, т. е. значения, которые использовались в

качестве исходных данных при формировании исследуемого варианта структуры, соответственно равны 30 и 6,5. Результаты исследования приведены в табл. 7.

Таким образом, в результате исследования устойчивости структуры было определено, что автоматизированные системы управления космической системы с данным вариантом топологической структуры обладает потенциальными возможностями дальнейшего развития без дополнительных затрат.

Число КА 1-го класса может быть увеличено с 30 до 45 и средняя продолжительность управляющих взаимодействий 1-го типа – с 3,5 до 5,1 мин при выполнении требований к качеству функционирования системы.

Рассмотрим другой пример формирования структуры АСУ космической системы. Допустим, что разрабатывается топологическая структура АСУ космической системы для управления тремя классами космических аппаратов (см. рисунок).



Зоны доступности и траектории полета космических аппаратов

Исходные данные: количество ПУ – 7, количество классов КА – 3, количество участков доступности – 9 (табл. 8–10).

Таблица 7

Результаты исследования устойчивости топологической структуры АСУ космической системы

Параметры и характеристики	Номер эксперимента				
	1	2	3	4	5
N_1	45	37	41	39	38
T_1 , мин	6,5	4,9	5,7	5,3	5,1
ω_1	0,843	0,975	0,880	0,970	0,960
U_1	0,710	0,470	0,600	0,485	0,775
U_2	0,670	0,550	0,550	0,570	0,560
U_3	0,720	0,480	0,550	0,510	0,490

Таблица 8

Время доступности космических аппаратов на участках возможной доступности

Класс КА	Участки возможной доступности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	5	6	–	–	–	–	–	–
2	–	–	–	5	6	5	–	–	–
3	–	–	–	–	–	–	3	4	4

Таблица 9

Ограничения и полное время полета над территорией

Класс КА	N_k	M_k	$\tau_{k \text{ min}}$, мин	Полное время полета τ_k , мин
1	0,6	1	9	15
2	0,7	2	10	12
3	0,6	3	9	14

Таблица 10

Стоимость построения пунктов управления

Порядковый номер, ПУ	1	2	3	4	5	6	7
Стоимость, усл. ед.	30	50	40	45	50	55	35

Результаты решения задачи сведены в таблицу (табл. 11).

Стоимость полученного комплекса пунктов управления, входящих в состав автоматизированной системы управления космической системы, составляет 205 усл. ед., что на 100 усл. ед. меньше стоимости исходного комплекса.

Таблица 11

Оптимальный вариант топологической структуры АСУ космической системы

Класс КА	Участки доступности L_k	Пункты управления m_k
1	1, 3	1, 3
2	5, 6	3, 4
3	7, 8, 9	3, 6, 7

В работе получил развитие имитационный подход к формированию автоматизированных систем управления космическими системами, предназначенный для выбора оптимального комплекса пунктов управления и топологии системы.

Разработанный модельно-алгоритмический аппарат позволяет автоматизировать процесс выбора пунктов управления космическими аппаратами, определяя их минимально необходимое количество и рациональное распределение в пространстве. Метод выбора топологической структуры АСУ космической системы имеет важное значение для решения широкого спектра практических задач формирования структур сложных систем управления.

Библиографические ссылки

1. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов / В. В. Кульба, Е. А. Микрин, Б. В. Павлов, В. Н. Платонов. М. : Наука, 2006.
2. Цвиркун А. Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. М. : Наука, 1985.
3. Грешилов А. А. Прикладные задачи математического программирования. М. : Логос, 2006.
4. Царев Р. Ю. Структуры и алгоритмы обработки данных / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2006.

R. Yu. Tsarev, D. V. Kapulin, O. I. Zavalova

DESIGNING OF TOPOLOGICAL STRUCTURE FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF SPACE SYSTEMS

This article reviews a problem of choosing of a structure of space system automated control system. The authors present a model and method of spacecraft control centers selecting. This allows effective forming the optimal set and location of control centers of space system automated control systems.

Keywords: space system, topological structure, automated control system.

© Царев Р. Ю., Капулин Д. В., Завьялова О. И., 2011

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ*

Выполнена оценка радиационной мощности лесных пожаров, обнаруженных в районе реки Ангары в 2006 г. Представлена методика оценки интенсивности тепловыделения на кромке пожара по измерениям его радиационной мощности. Проведена оценка количества сгоревшей при пожарах биомассы по измерениям радиационной энергии. Рассмотрена возможность определения вида лесного пожара по данным спутниковой съемки.

Ключевые слова: лесные пожары, радиационная мощность, спутниковая съемка.

Основным энергетическим параметром лесного пожара, оцениваемым с использованием данных спутникового дистанционного зондирования, является радиационная мощность пожара. *Радиационная мощность пожара* – это мера скорости выделения пожаром энергии, которое происходит за счет механизма излучения. Радиометр MODIS стал первым сенсором, имеющим 4-микрометровый канал с высоким порогом насыщения, способным давать оценки радиационной мощности пожара [1]. Оценки радиационной мощности, выделяемой в процессе горения, позволяют получить информацию об интенсивности тепловыделения на кромке пожара и количестве растительности, сгорающей в единицу времени [2].

Спутниковые радиометры, работающие в инфракрасном диапазоне, могут выполнять непосредственные измерения тепловой энергии, выделяемой в процессе горения растительности, в виде инфракрасного излучения. При этом каждый пиксель изображения спутникового радиометра будет содержать множество тепловых компонентов, имеющих различную темпе-

ратуру и субпиксельную площадь. Для каждого пожарного пикселя, согласно [3], общее значение радиационной мощности от всех тепловых компонентов (не включая фон) может быть вычислено как

$$FRE_{\text{true}} = A_{\text{sampl}} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \sum_{i=1}^n A_n \cdot T_n^4,$$

где FRE_{true} – радиационная мощность пожара, Вт; A_{sampl} – площадь наземной проекции пикселя, м^2 ; ε – излучательная способность; σ – постоянная Стефана–Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$; A_n – доля площади n -го теплового компонента поверхности в рамках отдельного наземного пикселя; T_n – температура n -го теплового компонента, К.

Методика исследования. Авторами была выполнена оценка энергетических параметров, а также оценка количества сгоревшей биомассы для пожаров. Всего рассмотрено 12 пожаров, обнаруженных в период с 9 по 22 июля 2006 г. в районе реки Ангары по данным радиометра MODIS (рис. 1).

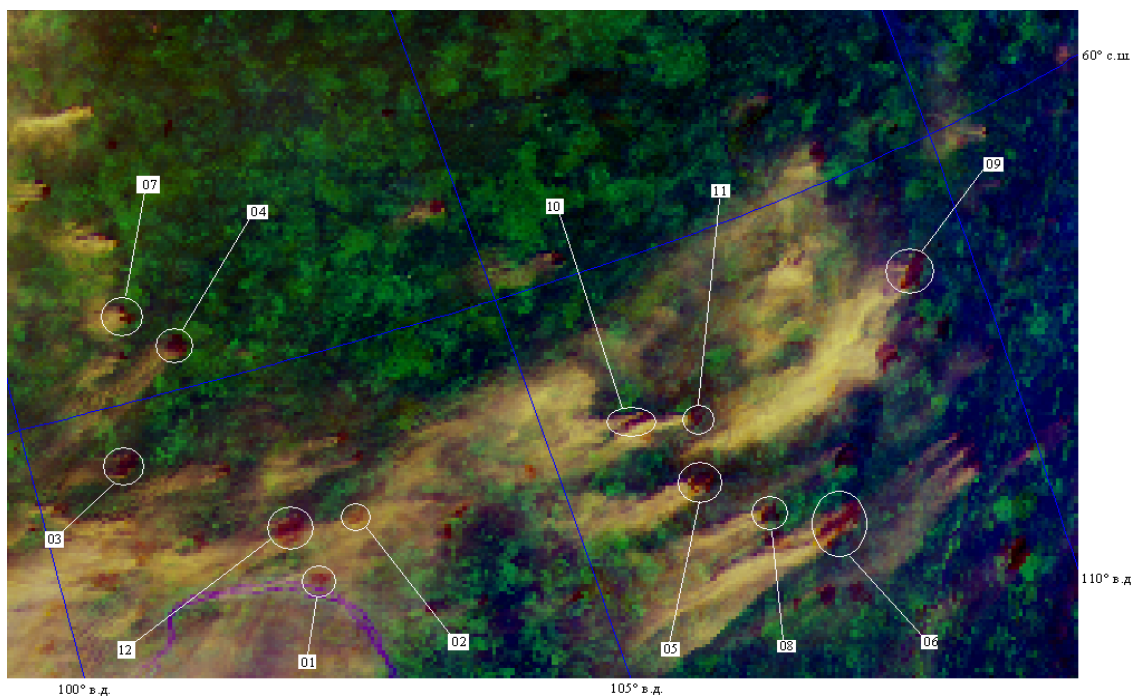


Рис. 1. Снимок пожаров, для которых проводилась оценка энергетических параметров (композит видимых каналов радиометра MODIS за 22 июля 2006 г.)

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.»

Оценки радиационной мощности пожаров на 22 июля 2006 г.

Номер пожара	Среднее значение FRP, МВт/пиксель	Общее значение FRP, МВт
1	20	205
2	27	505
3	20	488
4	20	564
5	48	4 396
6	36	3 556
7	25	566
8	107	2 467
9	52	2 488
10	34	1 332
11	83	1 161
12	19	674

При анализе данных из рассмотрения исключались дни, когда пожары были закрыты облаками и не было возможности определить температуру земной поверхности.

При обнаружении пожаров использовался статистический подход. В процессе обнаружения анализировались статистические параметры распределений температуры в 4-микрометровом диапазоне (канал 21 радиометра MODIS) и вычислялось среднее значение температуры и дисперсия в пространственном окне возле потенциального пожарного пикселя. При анализе изображения пожарным считался пиксель, температура которого превышала среднюю температуру пикселей в выборке на величину 2σ , где σ – дисперсия распределения температуры в канале 21 радиометра MODIS. Таким образом, условие принадлежности пикселя к классу пожаров по данным канала 21 радиометра MODIS может быть записано следующим образом:

$$T_{4fp} > T_{4avg} + 2 \cdot \sigma_4,$$

где T_{4fp} – температура пожарного пикселя в 4-микрометровом диапазоне; T_{4avg} – среднее значение температуры пикселей в выборке в 4-микрометровом диапазоне; σ_4 – дисперсия распределения температуры выборки в 4-микрометровом диапазоне. Выполнение этого условия дает вероятность принадлежности рассматриваемого пикселя к числу пожарных, равную 0,95.

Радиационная мощность пожара определялась с помощью соотношения между радиационной мощностью, выделяемой пожаром, и разницей температур в 4-микрометровом канале, аппроксимированного в [4]:

$$FRE_{MOD} = 4,34 \cdot 10^{-19} \cdot (T_4^8 - T_{4b}^8),$$

где T_4 – температура пикселя, содержащего активный пожар, в 4-микрометровом диапазоне; T_{4b} – температура фона в 4-микрометровом диапазоне. При этом минимальное и максимальное зарегистрированные значения радиационной энергии пожаров в отдельные дни составили 12 и 4 396 МВт соответственно. Среднее значение этой энергии для рассмотренных пожаров составило 551 МВт. Следует отметить, что большинство пожаров приходилось на пожары, имеющие небольшую мощность. Так, на пожары, радиационная мощность которых не превышала 500 МВт, приходилось почти 65 % от общего числа пожаров.

Оценки радиационной мощности пожаров на 22 июля 2006 г. приведены в табл. 1.

Оценка количества биомассы, сгоревшей при пожаре. Интенсивность реакции горения на единице площади кромки лесного пожара может быть определена следующим образом:

$$I_r = B_f \cdot \beta \cdot Q / \tau_0,$$

где I_r – интенсивность реакции на единице площади кромки, Вт/м²; B_f – запас горючих материалов, кг/м²; β – полнота сгорания; Q – теплотворная способность топлива, Дж/кг; τ_0 – промежуток времени, в течение которого происходит горение, с.

Известно, что радиационная мощность пожара составляет от 10 до 50 % от общей мощности пожара [5–8]. Тогда при радиационной мощности 40 % можно получить соотношение

$$I_r \approx 2,5 \cdot FRE,$$

где FRE – радиационная мощность единицы площади кромки пожара, Вт/м². Таким образом, существует линейная зависимость между скоростью сгорания биомассы при пожаре и радиационной мощностью пожара:

$$B_f \cdot \beta = 2,5 \cdot FRE \cdot \tau_0 / Q.$$

Линейное соотношение между радиационной энергией, выделенной при пожаре, и массой сгоревшего топлива получено и М. Дж. Вустером в результате экспериментальных исследований [9]. Однако спутниковые радиометры способны регистрировать только мгновенные значения скорости выделения радиационной энергии. Это позволяет оценивать лишь мгновенную скорость сгорания биомассы. Для оценки общего количества энергии, выделенной пожаром, а следовательно, и общего количества сгоревшей биомассы необходимо интегрирование мгновенной мощности и скорости сгорания биомассы по времени существования пожара.

Для оценки количества сгоревшей биомассы использовался метод, предложенный в [10]. Применялись следующие соотношения:

$$M_{biomass} = 0,368(\pm 0,015)FRE,$$

$$R_{biomass} = 0,368(\pm 0,015)FRP,$$

где $M_{biomass}$ – количество сгоревшей биомассы, кг; FRE – радиационная энергия, выделенная пожаром, МДж; $R_{biomass}$ – скорость сгорания биомассы, кг/с; FRP – радиационная мощность пожара, МВт.

Для оценки общего количества сгоревшей биомассы необходимо определить общее количество радиационной энергии, выделенной в процессе горения, т. е. проинтегрировать радиационную мощность по времени существования пожара. Однако здесь возникают сложности, связанные с недостаточной частотой получения снимков радиометра MODIS, что сильно

затрудняет оценку динамики изменения радиационной мощности пожара. Кроме этого, в те дни, когда исследуемая область была закрыта облаками, снимки пожаров вообще отсутствовали.

Полученные оценки количества сгоревшей биомассы даны в табл. 2.

Таблица 2

Оценки количества сгоревшей биомассы

Номер пожара	Радиационная энергия, ТДж	Масса сгоревшей растительности, тыс. т
1	432,2	159,3
2	369,4	136,1
3	193,4	71,2
4	461,2	169,8
5	622,1	229,0
6	1 376,3	506,3
7	318,3	117,0
8	419,5	154,2
9	473,8	174,3
10	522,3	192,3
11	255,8	94,1
12	729,1	268,0
Всего	6 173,4	2 271,6

Таким образом, для грубой оценки общего количества радиационной энергии, выделенной пожаром, принимались следующие допущения. Мощность пожара в течение суток считалась постоянной и равной мощности на момент прохода спутника и получения снимка. В случае если данные по мощности за какой-либо день отсутствовали, значение мощности аппроксимировалось средним значением за ближайшие дни наблюдений, для которых имелись данные.

Всего в пожарах, рассмотренных в данной статье, было выделено более 6 000 ТДж радиационной энергии и сгорело более 2 млн т биомассы. В то же время вероятно, что данные величины являются завышенными. Снимки MODIS получены в дневное время, когда интенсивность пожаров максимальна. Значение радиационной энергии, полученной в дневное время, распространялось на весь текущий день. Однако известно, что в ночное время интенсивность пожаров существенно ниже, чем днем. Следовательно, общее количество выделенной энергии будет меньше, как и количество сгоревшей биомассы.

Оценка интенсивности тепловыделения на кромке пожара. Согласно определению, предложенному Дж. М. Байрамом [11], интенсивность кромки пожара является произведением запаса горючих материалов, коэффициента полноты сгорания, теплотворной способности топлива и скорости распространения кромки пожара:

$$I_f = B_f \cdot \beta \cdot Q \cdot U,$$

где I_f – интенсивность кромки лесного пожара, Вт/м; B_f – запас горючих материалов, кг/м²; β – коэффициент полноты сгорания; Q – теплотворная способность

топлива, Дж/кг; U – скорость распространения кромки пожара, м/с.

Оценка интенсивности реакции может быть представлена в виде $I_r = I_f / X_0$, где I_r – интенсивность реакции на кромке лесного пожара, Вт/м²; I_f – интенсивность кромки лесного пожара, Вт/м; X_0 – ширина кромки пожара, м (рис. 2).

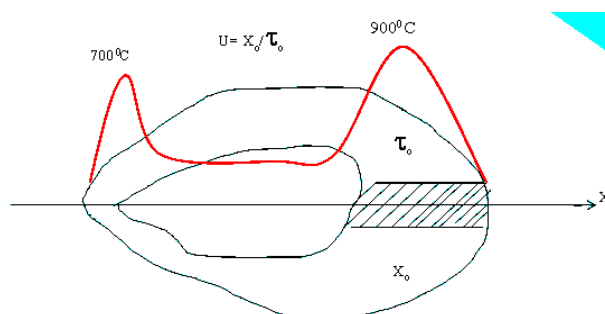


Рис. 2. Температурный профиль пожара: стрелкой показано направление ветра; X_0 – глубина кромки

Далее, положив $U = X_0 / \tau_0$, где τ_0 – промежуток времени, в течение которого происходит горение, с, интенсивность реакции можно определить как

$$I_r = (B_f \cdot \beta / \tau_0) \cdot Q \cdot (X_0 / X_0).$$

Таким образом можно получить соотношение, связывающее интенсивность реакции на единице площади кромки и выделяемую радиационную мощность (без учета поглощения инфракрасного излучения атмосферой и пологом древостоя): $I_r = 2,5 \cdot FRE$ (здесь предполагается, что доля излучения в общем тепловом балансе пожара составляет 40 %, что учитывается коэффициентом 2,5). Тогда выражение для оценки интенсивности кромки пожара по измерениям его радиационной мощности запишется в виде

$$I_f = 2,5 \cdot FRE \cdot X_0.$$

Итак, интенсивность тепловыделения в зоне горения определяется как произведение массовой скорости горения на низшую теплотворную способность горючего. Однако при оценке данного параметра дистанционными средствами возникает ряд сложностей. Во-первых, спутниковые радиометры способны регистрировать только лучистую энергию, которая может составлять значительную долю от общей энергии, выделяемой пожаром, однако эта величина изменяется в широких пределах в зависимости от вида пожара. Во-вторых, происходит ослабление лучистого потока на пути от пожара до спутника за счет атмосферы и полога древостоя. В-третьих, для оценки интенсивности тепловыделения на кромке пожара требуется информация о геометрических (пространственных) размерах пожара, таких как длина и ширина кромки, получение которых с помощью радиометра низкого пространственного разрешения MODIS является затруднительным.

Оценка площади высокотемпературной зоны пожара и ее температуры выполнялась с помощью биспектрального метода [12]. Полученные на 22 июля 2006 г. параметры пожаров представлены в табл. 3.

Параметры пожаров на 22 июля 2006 г.

Номер пожара	Эффективная температура фронта, К	Эффективная площадь фронта, га	Радиационная мощность фронта, МВт	Длина фронта, км	Эффективная глубина фронта, м	Радиационная интенсивность фронта, кВт/м	Вид пожара
1	599	2,34	170	6	3,9	28	Низовой
2	636	2,87	296	6	4,8	49	Низовой
3	644	3,05	321	9	3,4	36	Низовой
4	607	6,02	463	14	4,3	33	Низовой
5	634	36,31	4 396	39	9,3	113	Верховой
6	623	28,92	2 761	34	8,5	81	Низовой
7	611	6,66	566	10	6,7	57	Низовой
8	696	14,49	2 143	10	14,5	214	Верховой
9	635	16,81	2 403	19	8,8	126	Верховой
10	629	6,66	882	15	4,4	59	Низовой
11	645	7,88	1 161	7	11,2	166	Верховой
12	633	3,80	339	10	3,8	34	Низовой

Таблица 4

Классы интенсивности кромки пожаров

Класс интенсивности кромки пожара	Интенсивность кромки пожара, кВт/м	Поведение пожара
1	Менее 500	Слабый низовой пожар
2	500...2 000	Низовой пожар от низкой до высокой интенсивности
3	2 000...4 000	Очень интенсивный низовой пожар
4	Более 4 000	Верховой пожар

Классификация пожаров по мощности тепловыделения на фронте. В основу этой классификации пожаров предлагается положить такую энергетическую характеристику пожара, как мощность излучения кромки. Известно, что в зависимости от вида пожара интенсивность тепловыделения на кромке может меняться в широких пределах [13; 14]. Например, в работе [15] приводится следующая классификация пожаров (табл. 4).

Таким образом, исходя из литературных данных, для классификации использовалось следующее условие: если интенсивность кромки пожара хотя бы на одном участке фронта (в 1 пикселе) превышала 4 000 кВт/м, то пожар считался верховым, все остальные пожары рассматривались как низовые.

Необходимо также отметить, что хотя энергетический признак и является важным при определении вида пожара, другим существенным признаком следует считать скорость распространения кромки пожара. Скорость низовых и верховых пожаров может различаться на порядок величины [13]. Однако для использования данного параметра при дистанционном определении вида пожара нужны сенсоры с высоким пространственным разрешением для более точной оценки положения фронта. Кроме того, важно, чтобы интервал времени повторного наблюдения одного участка земной поверхности был небольшим.

В данной статье предложена методика оценки интенсивности кромки пожара по измерениям радиационной энергии пожара, сделанным спутниковыми сенсорами. И хотя в настоящее время точное определение размеров пожара может оказаться затруднительным по причине низкого пространственного разрешения имеющихся радиометров, разработка спутниковых систем, имеющих лучшее пространственное разрешение, позволит проводить подобный анализ.

Выполнена оценка количества биомассы, сгоревшей в пожарах. Однако в силу принятых допущений эта оценка может считаться лишь грубым приближением. Для более точной оценки необходима более точная информация по динамике изменения скорости сгорания биомассы во времени. Это в свою очередь требует наличия спутниковых систем с более высоким временным разрешением по сравнению с радиометром MODIS, т. е. более частого наблюдения одного участка земной поверхности.

Повышение точности оценки интенсивности тепловыделения на кромке пожара также связано с увеличением пространственного разрешения спутниковых радиометров. Это позволит более точно оценивать радиационную мощность пожаров, их геометрические размеры, долю радиационной мощности в общей мощности пожара.

Таким образом, измерения радиационной мощности пожара могут дать важную информацию относительно энергетических характеристик пожара, таких как интенсивность его кромки, оценка которой традиционными средствами является затруднительной.

Библиографические ссылки

1. The MODIS fire products / C. Justice, L. Giglio, S. Korontzi, et al. // *Remote Sensing of Environment*. 2002. Vol. 83. P. 244–262.
2. Relationship between remotely sensed fire intensity and rate of emission of smoke: SCAR-C experiment / Y. Kaufman, L. Remer, R. Ottmar et al. // *Global biomass burning*. Massachusetts : MIT Press, 1996. P. 685–696.
3. Wooster M. J., Zhukov B., Oertel D. Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products // *Remote Sensing of Environment*. 2003. Vol. 86. P. 83–107.
4. Kaufman Y. J., Kleidman R., King M. SCAR-B fires in the tropics: properties and remote sensing from EOS-MODIS // *J. of Geophysical Research*. 1998. Vol. 103. P. 31955–31968.
5. Сухинин А. И. Температурное поле при распространении пламени по хвое // *Проблемы лесной пирологии / Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева Сиб. отделения АН СССР*. Красноярск, 1975. С. 100–127.
6. Гришин М. А., Грузин А. Д., Зверев В. Г. Теплофизика лесных пожаров // *Ин-т теплофизики Сиб. отделения АН СССР*. Новосибирск, 1984. С. 38–75.
7. Ferguson S., Sandberg D., Ottmar R. Modelling the effect of land use changes on global biomass emissions // *Biomass Burning and Its Inter-relationship With the Climate System*. New York : Springer, 2000. P. 33–50.
8. Валендик Э. Н., Сухинин А. И., Косов И. В. Влияние низовых пожаров на устойчивость хвойных пород / *Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева Сиб. отделения Рос. акад. наук*. Красноярск, 2006.
9. Wooster M. J. Small-scale experimental testing of fire radiative energy for quantifying mass combusted in natural vegetation fires // *Geophysical Research Letters*. 2002. Vol. 29. P. 21.
10. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release / M. Wooster, G. Roberts, G. Perry, Y. Kaufman // *J. of Geophysical Research*. 2005. Vol. 110. D24311.
11. Byram G. M. Combustion of forest fuels // *Forest Fire: Control and Use*. New York : McGraw-Hill, 1959. P. 61–89.
12. Dozier J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution // *Remote Sensing of Environment*. 1981. Vol. 11. P. 221–229.
13. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М. : Гослесбуиздат, 1962.
14. Ryan K. C. Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems // *Silva Fennica*. 2002. Vol. 36, № 1. P. 13–39.
15. Variability of fire behavior, fire effects, and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia / D. J. McRae, S. G. Conard, G. A. Ivanova, et al. // *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2006. Vol. 11. P. 45–74.

E. G. Shvetsov, A. I. Sukhinin

ASSESSMENT OF FOREST FIRE ENERGY PARAMETERS USING SATELLITE IMAGERY

Radiative power assessment was performed for the fires detected in the Angara region in 2006. Technique for fireline intensity estimation using radiative power measurements is introduced. Rates and totals of biomass combustion were estimated using radiative energy values. Possibility of forest fire type determination using satellite imagery was considered.

Keywords: forest fires, radiative power, satellite imagery.

© Швецов Е. Г., Сухинин А. И., 2011

**AN ANALYSIS OF INTELLIGENT METHODS AND ALGORITHMS
FOR UNLABELED DATA PROCESSING***

Intelligent algorithms and method is well-suited to many problems in data processing, where unlabeled data may be abundant. We survey previously used selection strategies for intelligent model, and propose two novel algorithms to address their shortcomings, focus on Active Learning (AL). While has already been shown to markedly reduce the annotation efforts for many sequence labeling tasks compared to random selection, AL remains unconcerned about the internal structure of the selected sequences (typically, sentences). We propose a semi-supervised AL approach for sequence labeling.

Keywords: intelligent algorithms and methods, data processing, active learning.

Modeling can have a number of objectives, including understanding or explaining data, developing scientific theories, and making predictions. We focus in this paper on predictive modeling. The goal is to predict an outcome y given a number of predictor variables $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, also called features, attributes, or factors. For instance, in handwriting recognition, the predictor variables may indicate the presence of features such as loops or segments oriented in a certain direction, and the target variable or “label” can be a letter or a word to be recognized. In chemo-informatics, the predictors are descriptors of the molecular shape and the target indicates e.g., the activity of the molecule against a given disease. In text processing, the predictors may be simple frequencies of words and the target could be a document category such as “politics”, “sports”, “computers”, etc.

Producing predictive models in the “supervised learning” setting requires a “training set” of labeled examples, i.e., examples x for which the target value or “label” y is known. Those are used to train the predictive model, which is then evaluated with new examples (test set) to estimate its “generalization performance”.

In many applications, including handwriting recognition, chemo-informatics, and text processing, large amounts of unlabeled data are available at low cost (x only is known), but labeling examples (using a human expert to find the corresponding y value) is tedious and expensive. Hence there is a benefit to either use unlabeled data to improve the model in a semi-supervised learning algorithm, or to sample efficiently x -space to use human expertise for labeling only the most informative examples.

In the regular machine learning setting (passive learning), a batch of training pairs $\{x, y\}$ is made readily available (training set). The learning machine may be used to select the examples, which look most promising to improve the predictive model. There exist several variants of active learning:

- pool-based active learning: a large pool of examples x is made available from the onset of training;
- stream-based active learning: examples are made available continuously;
- de novo query synthesis: the learner can make up values of x .

Of the variants of active learning considered, pooled-based active learning is tremendously important in today’s machine learning and data mining applications, because of the availability of large amounts of unlabeled data in many domains, including pattern recognition (handwriting, speech, airborne or satellite images, etc.), text processing (internet documents, archives), chemo-informatics (untested molecules from combinatorial chemistry), and marketing (large customer databases).

Stream-based active learning is also important when sensor data is continuously available and data cannot be easily stored. However, it is more difficult to evaluate. It is reasonable to assume that several of the techniques developed for pooled-based active learning will also be applicable to stream-based active learning. The problem of de-novo queries is conceptually rather different because it involves human interventions on the system that may disrupt its normal functioning (interventions or manipulations).

A number of query strategies with various criteria of optimality have been devised. Perhaps the simplest and most commonly used query strategy is uncertainty sampling [1]. In this framework, an active learner queries the instances that it can label with least confidence. This of course requires the use of a model that is capable of assessing prediction uncertainty, such as a logistic model for binary classification problems. Another general active learning framework queries the labels of the instances that would impart the greatest change in the current model (expected model change), if we knew the labels. Since discriminative probabilistic models are usually trained with gradient-based optimization, the “change” imparted can be measured by the magnitude of the gradient [2].

A more theoretically motivated query strategy is query-by-committee (QBC) [3]. The QBC approach involves maintaining a committee of models, which are all trained on the current set of labeled samples, but represent competing hypotheses. Each committee member votes on the labels of query candidates and the query considered most informative is the one on which they disagree most.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

It can be shown that this is the query that potentially gives the largest reduction in the space of hypotheses (models) consistent with the current training dataset (version space). A related approach is Bayesian active learning. In the Bayesian setting, a prior over the space of hypotheses gets revised into a posterior after seeing data. Bayesian active learning algorithms, for instance [4], maximize the expected Kullback-Leibler divergence between the revised posterior distribution (after learning with the new queried example) and the current posterior distribution given the data already seen. Hence this can be seen both as an extension of the expected model change framework for a Bayesian committee and a probabilistic reduction of hypothesis space.

A more direct criterion of optimality seeks queries that are expected to produce the greatest reduction in generalization error (expected error reduction). The first statistical analyses of active learning proposed in [5], demonstrating how to synthesize queries that minimize the learner's future error by minimizing its variance. However, their approach applies only to regression tasks and synthesizes queries de novo. Another more direct, but very computationally expensive approach is to tentatively add to the training set all possible candidate queries with one of the opposite label and estimate how much generalization error reduction would result by adding it to the training set [6].

It has been suggested that uncertainty sampling and QBC strategies are prone to querying outliers and therefore are not robust. The information density framework [7] addresses that problem by calling informative instances that are not only uncertain, but representative of the input distribution.

Active Learning. Sequence labeling is the task of mapping an ordered list of inputs to a sequence of output tags. It has many practical applications in natural language processing such as named entity recognition, part-of-speech tagging, shallow parsing, and text chunking. Another potential application, which is investigated in this study, is the subphrase generation problem. The goal of subphrase generation in query processing is to find subphrases in a query that maximally preserve the user's intent. Unlike the classification of record based data, sequence labeling depends not only on the features extracted from the input sequence but also on its previous output tags. Many algorithms have been proposed in the literature to address this problem, including Conditional Random Field [8], Hidden Markov Model [9] and Maximum Entropy Markov Model [10].

A known problem in supervised learning tasks such as sequence labeling is the difficulty of acquiring labeled examples. The size of training data available is often limited because labeling examples can be very expensive. Labeling a sequence is also more challenging because the output tag depends on both the input and previous output tags. As a result, the tags of a sequence must be determined as a whole, rather than individually for each input element. Active learning may help to address this problem by selecting a small subset of examples for labeling from the large pool of unlabeled sequences available. By selecting the most informative examples, active learning can significantly reduce the required size

of training data while maintaining comparable level of performance. However, the definition of «informative» varies for different algorithms and applications. One commonly used method is to select examples with largest uncertainties. In this paper, we treat each sequence as a whole for labeling and propose two strategies to measure the uncertainty of sequences under the Neural Network framework, referred as simple uncertainty (SU) and most-possible-constraint-violation method (MPSV).

Sequence Labeling Problem. Sequence labeling is a common problem with many applications in many areas such as named entity recognition [11], POS tagging [12], text chunking [12], etc. Definition 1 and Definition 2 give the formal definition of sequence and sequence labeling problem.

Definition 1 [Sequence]: A sequence x is an ordered list of elements $x = (x^1, x^2, \dots, x^l)$.

Definition 2 [Sequence Labeling]: Given a sequence of inputs x , the sequence labeling problem is trying to label it with a sequence of tags $y = (y^1, y^2, \dots, y^l)$, where each tag y^j belongs to a tag set D with $|D|$ tags.

One simple way to solve the sequence labeling problem is to use traditional classification algorithm such as Neural Network, which treats each element in the sequence as one example. However, it requires the features extracted only depend on the inputs x , which is not true in sequence labeling problem. The features extracted for sequence labeling not only depends on the inputs x , but also depends on the outputs y . The feature vector for a sequence (x, y) is represented as a joint feature mapping vector $\phi(x, y)$. The definition of ϕ depends on the nature of different applications. One example feature for the subphrase matching problem would be “previous word is dropped → current word is kept”, which represents the transition from previous tag “0” to current tag “1”.

Now assume that we have a training sequence set $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ with its corresponding tag sequence set $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. We are interested in learning a mapping function $f: X \rightarrow Y$. Instead of learning f directly, the strategy is to transform the problem into learning a discrimination function F over the joint mapping of input and output:

$$X \times Y \rightarrow R.$$

Given a test sequence x , its prediction is achieved by maximizing F over the response variable. The generalized form of the hypotheses f becomes

$$f(x, w) = \arg \max_{y \in Y} F(x, y; w), \quad (1)$$

where w is the parameters to be learned. Using the joint feature vector $\phi(x, y)$, it can be further formulated as

$$f(x, w) = \arg \max_{y \in Y} F(\phi(x, y); w). \quad (2)$$

Note that many existing methods for sequence labeling problem can be explained in the above framework. For example, the function form F that are maximized in the above prediction function represents the conditional probability $P(y|x)$ in conditional random field [8], Hidden Markov Models [9], Maximum Entropy Markov Models [10] and Modified Neural Network [13].

Active Learning By Modified Neural Network.

From the previous work on active learning [14], measurement of uncertainty has played an important role in selecting the most valuable examples from a pool of unlabeled data. In the in the above framework, three methods have been proposed to measure the uncertainty of simple data, which are referred as simple margin (fig. 1), MaxMin margin and ratio margin.

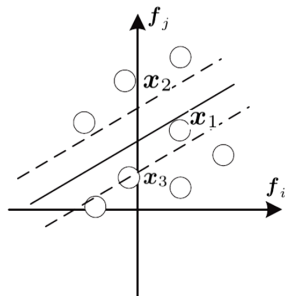


Fig. 1. Simple margin method will select unlabeled data x_1 for querying, which lies closest to the hyperplane

Simple margin measures the uncertainty of an simple example x by its distance to the hyperplane w calculated as

$$|w \cdot \varphi(x)|. \quad (3)$$

As illustrated in fig. 1, examples lying closer to the hyperplane are assigned with larger uncertainty score. This is consistent with the intuition that examples close to the hyperplane are classified with lower confidence. These examples are considered as valuable examples since they have higher probability to be misclassified and thus more informative to be selected for further training.

However, labeling an element in a sequence by itself is almost infeasible in most sequence labeling applications because of the requirement for context information. In most situations we have to consider a whole sequence as an unit for uncertainty measurement and active selection. Given a pool of unlabeled sequences, $U = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, the goal of active learning in sequence labeling is to select the most valuable sequences from the pool. A straightforward way to measure the uncertainty of a sequence s is by its prediction score. The prediction score $w^T \varphi(s, y)$ measures the certainty of labeling test sequence s using the tag sequence y .

The simple uncertainty for sequence s is then calculated in Neural Network as:

$$UC(s) = \exp(-\max_{y \in Y} w^T \varphi(s, y)), \quad (4)$$

which is based on the negative value of the prediction score given by formula (2). Note that the features in sequence labeling not only depend on the input sequence s , but also depends on the output y . Finally, the sequences with larger uncertainty are selected as valuable examples to add to the training set for further learning. We refer this method as simple uncertainty (SU) in this paper.

One drawback of the simple prediction score is its ignorance of the underlying score distribution among different classes and only use the maximum score as a measure of certainty. Here we propose another method which defines the uncertainty of a sequence x as

$$MPSV(s) = \exp(-\max_{\substack{y_1, y_2 \in Y \\ y_1 \neq y_2}} (w^T \varphi(s, y_1) - w^T \varphi(s, y_2))), \quad (5)$$

which can be further formulated as

$$MPSV(s) = \exp(\min_{y \in Y} w^T \varphi(s, y) - \max_{y \in Y} w^T \varphi(s, y)). \quad (6)$$

We measure the uncertainty of an sequence s as the difference between the minimum prediction score and the maximum prediction score, which is actually the most possible violated constraint for a sequence s that can be added into the optimization problem.

We refer this method as the most-possible-constraint-violation method (MPSV) in this paper. The two methods SU and MPSV proposed here are used to calculate the uncertainty for each test sequence s . The test sequences with maximum uncertainty score are selected as the most informative sequences. These sequences are submitted to the labeler to query for labeling and further added into the training set.

Experiment Result. We applied our algorithm to three data sets in our experiment. The first two data sets come from named entity recognition shared task of CoNLL-2002 [11]. One is Spanish data (ESP), which is a collection of news wire articles made available by the Spanish EFE News Agency. Another is Dutch data NED, which consist of four editions of the Belgian newspaper “DeMorgen” of 2000. The task is to label each word in the sentence using some predefined entity tags such as person names (PER), organizations (ORG), locations (LOC) and miscellaneous names (MISC) with a B ahead of them denoting the first item of a phrase and an I any non-initial word. The third data we are using is collected from the query subphrase matching project (QSPM) of Yahoo Sponsor Search. Given a query by a typical search engine user, the goal is to generate subphrases that preserve the user intent as well as match the bidded terms submitted by advertisers. There are two tags: “KEEP” (“1”) and “DROP” (“0”) for each position.

For each position in the sequence, we extract its context features such as “current word is”, “previous word is”, “next word is” and so on. We also used tag transition features such as “previous tag to current tag”. Some word features such as prefix and suffix are also used based on the language of the data such as “th” for English data. We did not employ any feature selection methods in our experiments. For the DER data, the Part-Of-Speech tags are also utilized as grammatical features.

In this experiment, we compare the most-possible-constraint-violations method (MPSV) and simple uncertainty (SU) method with the random method. To alleviate the length problem in sequence active learning, we select a subset of sequences from the training data, which has the same length. For each data set, we run four experiments, each on a different length selected from the training data. For NED data, we select all the sequences with length 12, 13, 14 and 15 in each experiment. For ESP data, we select all the sequences with length 42, 43, 44, 45 in each experiment. For the QSPM data, we select all the sequences with length 3, 4, 5, 6. For the NED and MPSV data set, we select 400 sequences at each length. The first 10 are used for initial training. The pool of the

remaining 390 sequences is for active selection. Each time we select 15 sequences and the result is reported as the average error rate of different length. For the QSPM data, we select 1930 sequences at each length. The first 10 sequences are used for initial training. The pool of the remaining 1920 sequences is for active selection. Each time we select 60 sequences and the result is reported as the average error rate of different length on the test set.

Fig. 2 shows the results for the three methods in the three data sets ESP, NED and QSPM. The x -axis denotes the number of unlabeled sequences selected to query for labeling. The y -axis represents the average error rate, which is calculated in the word level as follows:

$$\text{ErrorRate}_{\{\text{WordLevel}\}} = \frac{\text{Total number of correctly tagged words}}{\text{Total number of words}} \quad (7)$$

We observe from the fig. 2 that both MPSV and SU methods outperform random approach on all three data sets. Also MPSV performs better than SU, which means that MPSV is a better way to measure uncertainty for Modified Neural Network. Furthermore, the gap between the MPSV and other two methods seems very large when the number of selected sequences is small. It means that MPSV serves as a good criteria that only a small number of sequences are needed to get good performance. In this experiment, all the sequences are of the same length to compare three methods and we are aiming to select a predefined number of sequences.

In this paper, we have proposed two measurements of uncertainty in Neural Network for selecting the most informative sequences to query from labeling from a pool of unlabeled sequences. One is the most-possible-constraint-violation method (MPSV) and another is simple uncertainty (SU) method. We compare our proposed methods with random selection on three real data set from named entity recognition task and subphrase generation task for queries. For the task of entity recognition, our experiments reveal that this approach reduces annotation efforts in terms of manually labeled tokens compared to the standard, fully supervised AL scheme. Our experiment result on selecting sequences with same length shows that the most-possible-constraint-violation method (MPSV) and simple uncertainty (SU) outperform the random method significantly. Also MPSV outperforms SU by considering the underlying class distribution.

References

1. Lewis D., Gale W. A sequential algorithm for training text classifiers // Proc. of the ACM SIGIR Conf. on R & D in Information Retrieval. 1994. P. 3–12.
2. Settles B., Craven M., Ray S. Multiple-instance active learning // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). 2008. Vol. 20. P. 1289–1296.
3. Seung H. S., Opper M, Sompolinsky H. Query by committee // Proc. of the ACM Workshop on Computational Learning Theory. 1992. P. 287–294.
4. Tong S., Koller D. Active Learning for Parameter Estimation in Bayesian Networks // NIPS. 2000. P. 647–653.
5. Cohn D., Ghahramani Z., Jordan M. I. Active learning with statistical models // J. of Artificial Intelligence Research. 1996. Vol. 4. P. 129–145.
6. Roy N., McCallum A. Toward optimal active learning through sampling estimation of error reduction // Proc. of the Intern. Conf. on Machine Learning (ICML). 2001. P. 441–448.
7. Settles B., Craven M. An analysis of active learning strategies for sequence labeling tasks // Proc. of the Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). 2008. P. 1069–1078.
8. Lafferty J., McCallum A., Pereira F. Conditional random fields: Probabilistic models for segmenting and labeling sequence data // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Machine Learning. 2001. P. 282–289.
9. Rabiner L. R. A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition // Proc. of the IEEE. 1989. Vol. 77. № 2. P. 257–286.
10. McCallum A., Freitag D., Pereira F. Maximum entropy Markov models for information extraction and segmentation // Proc. of the 17th Intern. Conf. on Machine Learning. 2000. P. 591–598.
11. Sang E. F. Introduction to the conll-2002 shared task: Language-independent named entity recognition // Proc. of the CoNLL-2002. 2002. P. 155–158.
12. Stegeman L. Part-of-speech tagging and chunk parsing of spoken Dutch using support vector machines // Proc. of the 4th Twente Student Conf. on IT. 2006.
13. Engel E. A. Modified artificial neural network for information processing with the selection of essential connections : Ph. D. thesis. Krasnoyarsk, 2004.
14. Tong S., Koller D. Support vector machine active learning with applications to text classification // Proc. of the ICML-00, 17th Intern. Conf. on Machine Learning. 2000. P. 999–1006.

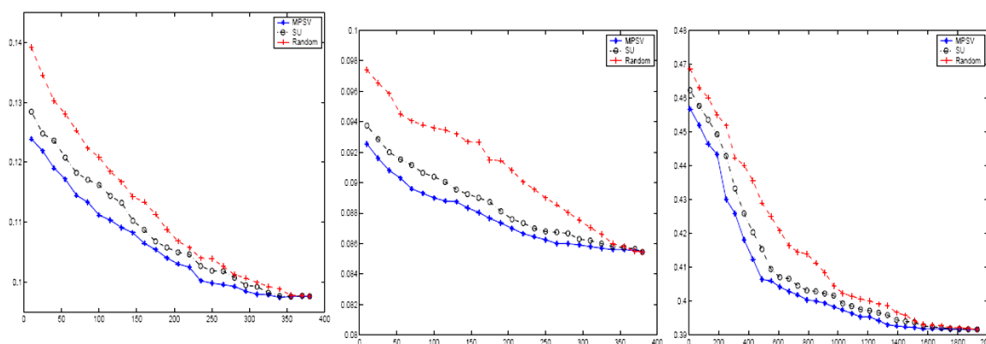


Fig. 2. The average error for ESP data set by three active learning uncertainty measurements

**АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С ПРОПУСКАМИ**

Интеллектуальные алгоритмы и методы хорошо подходят для многих задач обработки данных, где немаркированные данные преобладают. Проведен анализ селективных стратегий настройки интеллектуальной модели с акцентом на активные методы обучения (АЛ) и предложено два алгоритма, устраняющих недостатки проанализированных стратегий. Хотя уже было показано, что активное обучение заметно снижает усилия на аннотацию для многих задач маркировки последовательностей по сравнению со случайным выбором, АЛ не учитывает внутреннюю структуру выбранной последовательности (как правило, предложения). Предложен комбинированный подход АЛ к маркировке последовательности.

Ключевые слова: интеллектуальные алгоритмы и методы, обработка данных, активное обучение.

© Engel E. A., 2011

УДК 517.95

Т. К. Юлдашев

**СМЕШАННАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО
УРАВНЕНИЯ, СОДЕРЖАЩЕГО КУБ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА**

Рассмотрены вопросы однозначной разрешимости смешанной задачи для нелинейного интегро-дифференциального уравнения, содержащего куб параболического оператора. С помощью нелинейного метода Фурье разделения переменных задача сводится к изучению счетной системы нелинейных интегральных уравнений.

Ключевые слова: куб параболического оператора, отклонение аргумента, счетная система нелинейных интегральных уравнений, обобщенные производные, сходимость ряда.

В области D рассматривается уравнение

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial^2}{\partial x^2}\right)^3 u(t, x) = f\left(t, x, u(t, x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t K(t, s) u(\delta(t, x), x) ds\right) \quad (1)$$

с условиями

$$\begin{cases} u(t, x)|_{t \in (-\infty; 0]} = \varphi_1(t, x), u(t, x)|_{t \in (T; \infty)} = 0, \\ u_t(t, x)|_{t=0} = \varphi_2(x), u_{tt}(t, x)|_{t=0} = \varphi_3(x), \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} u(t, x)|_{x=0} = u(t, x)|_{x=l} = u_{xx}(t, x)|_{x=0} = 0, \\ u_{xx}(t, x)|_{x=l} = u_{xxxx}(t, x)|_{x=0} = u_{xxxx}(t, x)|_{x=l} = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где $f(t, x, u(t, x)) \in C(D \times R^2)$, здесь $D \equiv D_T \times D_l$, $D_T \equiv [0, T]$, $D_l \equiv [0, l]$, $0 < l < \infty$, $0 < T < \infty$; $0 < K(t, s) \in C(D_T^2)$; $\delta(t, x) \neq t$; $\varphi_i(x) \in C(D_l)$, $\varphi_i(x)|_{x=0} = \varphi_i(x)|_{x=l} = \varphi_i''(x)|_{x=0} = \varphi_i''(x)|_{x=l} = \varphi_i^{(IV)}(x)|_{x=0} = \varphi_i^{(IV)}(x)|_{x=l} = 0$, $i = \overline{1, 3}$.

Решение данной задачи ищем в виде ряда [1]:

$$u(t, x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n(t) \cdot b_n(x), \quad (t, x) \in D, \quad (4)$$

где $b_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \lambda_n x$, здесь $\lambda_n = \frac{n\pi}{l}$, $n = 1, 2, \dots$

Функции $b_n(x)$ удовлетворяют граничным условиям

$$b_n(0) = b_n(l) = b_n''(0) = b_n''(l) = 0.$$

Следовательно, функция, определенная с помощью ряда (4), формально удовлетворяет условиям (3).

В данной статье все обозначения заимствованы из работы [2]. Норму в пространстве $B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$ примем следующим образом:

$$\|\bar{a}(t)\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} = \alpha(t) \|\bar{a}(t)\|_{B_p(T)} + \eta(t) \|\lambda^2 \bar{a}(t)\|_{B_p(T)},$$

где $0 < \alpha(t)$; $\eta(t) \in C(D_T)$, $\lambda_n = \frac{n\pi}{l}$, $n = 1, 2, \dots$

Сведение решения задачи к счетной системе нелинейных интегральных уравнений. Введем следующее определение: если функция $u(t, x) \in E_{p,\alpha}^{2,\eta}(D)$ удовлетворяет интегральному тождеству

$$\int_0^T \int_0^l \left\{ u(t, x) \left[\frac{\partial^3}{\partial t^3} \Phi + 3 \frac{\partial^4}{\partial t^2 \partial x^2} \Phi + 3 \frac{\partial^5}{\partial t \partial x^4} \Phi + \frac{\partial^6}{\partial x^6} \Phi \right] + f \Phi \right\} dx dt =$$

$$= \int_0^l \phi_1 \left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} \Phi \right]_{t=0} dx - 3 \int_0^l \phi_2 \left[\frac{\partial^3}{\partial t \partial x^2} \Phi \right]_{t=0} dx +$$

$$+ 3 \int_0^l \phi_3 \left[\frac{\partial^4}{\partial x^4} \Phi \right]_{t=0} dx$$

для любого $H(t, x) \in W_{k,p} \left(D_{\frac{\partial^2}{\partial x^2}} \right)$, то функция

$u(t, x) \in E_{p,\alpha}^{2,\eta}$ называется решением смешанной задачи (1)...(3).

Теорема 1. Пусть выполняются следующие условия:

- 1) $f: Q: B_p(T) \rightarrow L_p(D)$ непрерывен;
- 2) $\| \bar{w}(t) \|_{B_p(T)} < \infty$;
- 3) $u(t, x)$ является решением смешанной задачи (1)...(3) и

$$a_n(t) = \int_0^l u(t, x) b_n(x) dx.$$

Тогда коэффициенты Фурье решения смешанной задачи (1)...(3) по собственным функциям $b_n(x)$ оператора $-\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ удовлетворяют следующей счетной системе нелинейных интегральных уравнений (ССНИУ):

$$a_n(t) = w_n(t) + \int_0^l \int_0^l f(s, x, Q \bar{a}(s), Q^{2,\eta} \bar{a}(\delta(s, x))) \times$$

$$\times b_n(x) P_n(t, s) dx ds, \quad t \in D_T, \quad (5)$$

где

$$w_n(t) = \left[\left(1 + \lambda_n^2 t + \frac{\lambda_n^4}{2} t^2 \right) \cdot \phi_{1n} + \right.$$

$$\left. + \left(t + \lambda_n^2 t^2 \right) \cdot \phi_{2n} + \frac{t^2}{2} \cdot \phi_{3n} \right] \cdot e^{-\lambda_n^2 t};$$

$$P_n(t, s) = 2 \cdot (t-s)^2 \cdot e^{-\lambda_n^2(t-s)};$$

$$Q^{2,\eta} \bar{a}(t) = -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t K(t, s) u(s, x) ds =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \lambda_n^2 \int_0^t K(t, s) a_n(s) \cdot b_n(x) ds.$$

Доказательство. Согласно определению решения смешанной задачи (1)...(3) имеем

$$\int_0^T \int_0^l \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} a_n(s) \cdot b_n(x) \left[\frac{\partial^3}{\partial s^3} \Phi + 3 \frac{\partial^4}{\partial s^2 \partial x^2} \Phi + \right. \right.$$

$$\left. + 3 \frac{\partial^5}{\partial s \partial x^4} \Phi + \frac{\partial^6}{\partial x^6} \Phi \right] - f \Phi \left. \right\} dx ds = \int_0^l \phi_1 \left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} \Phi \right]_{t=0} dx -$$

$$- 3 \int_0^l \phi_2 \left[\frac{\partial^3}{\partial t \partial x^2} \Phi \right]_{t=0} dx + 3 \int_0^l \phi_3 \left[\frac{\partial^4}{\partial x^4} \Phi \right]_{t=0} dx. \quad (6)$$

Пусть в (6) $\Phi = \Phi_m(t, x) = h(t) b_m(x) \in W_{k,p} \left(D_{\frac{\partial^2}{\partial x^2}} \right)$, где $0 \neq h(t) \in C^3(D_T)$. Тогда

$$\int_0^T \int_0^l \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} a_n(s) \cdot b_n(x) \left[-h'''(s) b_m(x) - 3 \lambda_m^2 h''(s) b_m(x) - \right. \right.$$

$$\left. - 3 \lambda_m^4 h'(s) b_m(x) + \lambda_m^6 h(s) b_m(x) \right] -$$

$$- f(s, x, Q \bar{a}(s), Q^{2,\eta} \bar{a}(\delta(s, x))) \cdot h(s) \cdot b_m(x) \left. \right\} dx ds =$$

$$= \int_0^T \int_0^l \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} a_n(s) \cdot b_n(x) \left[-h'''(s) - 3 \lambda_m^2 h''(s) - 3 \lambda_m^4 h'(s) + \right. \right.$$

$$\left. + \lambda_m^6 h(s) \right] - f(s, x, Q \bar{a}(s), Q^{2,\eta} \bar{a}(\delta(s, x))) \times$$

$$\times h(s) \cdot b_m(x) \left. \right\} dx ds = 0.$$

Учитывая, что система функций $\{ b_n(x) \}_{n=1}^{\infty}$ ортонормирована, из последнего равенства имеем

$$\int_0^T \left[a_n(t) \cdot \left(-h'''(t) - 3 \lambda_m^2 h''(t) - 3 \lambda_m^4 h'(t) + \lambda_m^6 h(t) \right) - \right.$$

$$\left. - \int_0^l f(t, x, Q \bar{a}(t), Q^{2,\eta} \bar{a}(\delta(t, x))) \times \right.$$

$$\left. \times h(t) \cdot b_n(x) dx \right] dt = 0,$$

откуда, интегрируя по частям, получим

$$\int_0^T h(t) \left[a_n'''(t) + 3 \lambda_n^2 a_n''(t) + 3 \lambda_n^4 a_n'(t) + \lambda_n^6 a_n(t) - \right.$$

$$\left. - \int_0^l f(t, x, Q \bar{a}(t), Q^{2,\eta} \bar{a}(\delta(t, x))) \cdot b_n(x) dx \right] dt = 0. \quad (7)$$

Так как $h(t)$ – это любая функция, удовлетворяющая вышеуказанным условиям, то $a_n(t)$ имеет обобщенные производные третьего порядка по t в смысле Соболева на отрезке D_T . Поскольку $h(t) \neq 0$ для всех $t \in D_T$, то из (7) получим

$$a_n'''(t) + 3 \lambda_n^2 a_n''(t) + 3 \lambda_n^4 a_n'(t) + \lambda_n^6 a_n(t) =$$

$$= \int_0^l f(t, x, Q \bar{a}(t), Q^{2,\eta} \bar{a}(\delta(t, x))) \cdot b_n(x) dx. \quad (8)$$

Решим систему (8) методом вариации произвольных постоянных:

$$a_n(t) = (C_{1n} + C_{2n}t + C_{3n}t^2) \cdot e^{-\lambda_n t} + \int_0^t \int_0^l f(s, x, Q\bar{a}(s), Q^{2,\eta}\bar{a}(\delta(s, x))) \times b_n(x) P_n(t, s) dx ds, \quad t \in D_T. \quad (9)$$

Для определения коэффициентов C_{in} ($i = \overline{1, 3}$) используем условия

$$a_n(0) = \phi_{1n}, \quad a_n'(0) = \phi_{2n}, \quad a_n''(0) = \phi_{3n},$$

где $\phi_{in} = \int_0^l \phi_i(x) \cdot b_n(x) dx$, $i = \overline{1, 3}$, $x \in D_l$. Тогда из

(9) получим ССНИУ (5).

Однозначная разрешимость ССНИУ. Рассмотрим ССНИУ (5) при нелинейном отклонении $\delta(t, x) = \delta(t, x, u(t, x))$.

Теорема 2. Пусть выполняются следующие условия:

$$1) \int_0^T \left\| f(t, x, Q\bar{a}^0(t), Q^{2,\eta}\bar{a}^0(\delta(t, x, Q\bar{a}^0(t)))) \right\|_{L_p(D_l)} dt \leq \Delta < \infty;$$

где

$$2) f(t, x, u, \theta) \in \text{Lip} \left\{ \alpha(t) \Big|_u; L_1(t) \Big|_\theta \right\}, \quad \text{где}$$

$0 < \alpha(t), L_1(t) \in C(D_T)$;

$$3) \delta(t, x, u) \in \text{Lip} \left\{ L_2(t) \Big|_u \right\}, \quad \text{где } 0 < L_2(t) \in C(D_T);$$

$$4) \|\bar{w}(t)\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} < \infty.$$

Тогда ССНИУ (5) имеет единственное решение в пространстве $B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$.

Доказательство. Используем метод последовательных приближений:

$$\begin{cases} a_n^0(t) = w_n(t), \quad t \in D_T, \\ a_n^{k+1}(t) = w_n(t) + \int_0^t \int_0^l f(s, x, Q\bar{a}^k(s), Q^{2,\eta}\bar{a}^k(\delta(s, x, Q\bar{a}^k(s)))) \times \\ \times b_n(x) P_n(t, s) dx ds, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad t \in D_T. \end{cases} \quad (10)$$

В силу условий теоремы для первой разности $a_n^1(t) - a_n^0(t)$ из (10) получим

$$\begin{aligned} & \left\| \bar{a}^1(t) - \bar{a}^0(t) \right\|_{B_p(T)} \leq \\ & \leq \int_0^t \int_0^l \left| f(s, x, Q\bar{a}^0(s), Q^{2,\eta}\bar{a}^0(\delta(s, x, Q\bar{a}^0(s)))) \right| \times \\ & \times \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} |P_n(t, s)|^p \right\}^{1/p} \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} |b_n(x)|^q \right)^{1/q} dx ds \leq \end{aligned}$$

$$\leq M_1 M_2 \int_0^t \int_0^l \left| f(s, x, Q\bar{a}^0(s), Q^{2,\eta}\bar{a}^0(\delta(s, x, Q\bar{a}^0(s)))) \right| \times dx ds \leq M_1 M_2 l^{1/q} \Delta,$$

где $M_1 = \max_{(t,s)} \|\bar{P}(t, s)\|_{B_p(T)}$; $M_2 = \max_x \|\bar{b}(x)\|_{B_q(l)}$,

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1.$$

Отсюда имеем, что

$$\begin{aligned} & \left\| \bar{a}^1(t) - \bar{a}^0(t) \right\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} \leq \\ & \leq (\alpha(t) M_1 + \eta(t) \bar{M}_1) M_2 l^{1/q} \Delta, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\eta(t) = L_1(t) \cdot \int_0^t |K(t, s)| \cdot (1 + \Delta \cdot L_2(s)) ds;$$

$$\bar{M}_1 = \max_{(t,s)} \left\| \lambda^2 \bar{P}(t, s) \right\|_{B_p(T)} < \infty.$$

С учетом (11) в силу второго и третьего условий теоремы для второй разности $a_n^2(t) - a_n^1(t)$ получим следующую оценку [2; 3]:

$$\begin{aligned} & \left\| \bar{a}^2(t) - \bar{a}^1(t) \right\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} \leq (\alpha(t) M_1 + \eta(t) \bar{M}_1) M_2 \times \\ & \times \int_0^t \int_0^l \left| f(s, x, Q\bar{a}^1(s), Q^{2,\eta}\bar{a}^1(\delta(s, x, Q\bar{a}^1(s)))) - \right. \\ & \left. - f(s, x, Q\bar{a}^0(s), Q^{2,\eta}\bar{a}^0(\delta(s, x, Q\bar{a}^0(s)))) \right| dx ds \leq \\ & \leq (\alpha(t) M_1 + \eta(t) \bar{M}_1) M_2^2 \int_0^t \int_0^l \left[\alpha(s) \left\| \bar{a}^1(s) - \bar{a}^0(s) \right\|_{B_p} + \right. \\ & \left. + L_1(s) \int_0^s |K(s, \theta)| \left\| \lambda^2 (\bar{a}^1(\delta(\theta, x, Q\bar{a}^1(\theta))) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \bar{a}^0(\delta(\theta, x, Q\bar{a}^0(\theta)))) \right\|_{B_p} d\theta \right] dx ds \leq \\ & \leq \Delta \left[(\alpha(t) M_1 + \eta(t) \bar{M}_1) \right]^2 M_2^3 l^{1+1/q}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\eta(t) = L_1(t) \cdot \int_0^t |K(t, s)| \cdot (1 + \Delta \cdot L_2(s)) ds$.

Для произвольного натурального числа k аналогично (12) получим

$$\begin{aligned} & \left\| \bar{a}^{k+1}(t) - \bar{a}^k(t) \right\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} \leq \\ & \leq \Delta \left[(\alpha(t) M_1 + \eta(t) \bar{M}_1) \right]^{k+1} l^{1/q+k} M_2^{2k+1} \frac{t^k}{k!}. \end{aligned} \quad (13)$$

Существование решения ССНИУ (5) следует из оценки (13), так как при $k \rightarrow \infty$ последовательность функций $\{\bar{a}^k(t)\}_{k=1}^{\infty}$ сходится равномерно по t к

функции $\bar{a}(t) \in B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$. Покажем единственность этого решения в пространстве $B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$.

Пусть ССНИУ (5) имеет два решения: $\bar{a}(t) \in B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$ и $\bar{\mathfrak{Q}}(t) \in B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$. Тогда для их разности получим оценку

$$\begin{aligned} \|\bar{a}(t) - \bar{\mathfrak{Q}}(t)\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} &\leq (\alpha(t)M_1 + \eta(t)\bar{M}_1) \times \\ &\times M_2^2 l \int_0^t \|\bar{a}(s) - \bar{\mathfrak{Q}}(s)\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(t)} ds. \end{aligned} \quad (14)$$

Применяя к (14) неравенство типа Гронуолла–Бельмана, получим, что $\|\bar{a}(t) - \bar{\mathfrak{Q}}(t)\|_{B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)} \equiv 0$ для всех $t \in [0; T]$. Отсюда следует единственность решения ССНИУ (5) в пространстве $B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$.

Однозначная разрешимость смешанной задачи. Подставляя ССНИУ (5) в ряд (4), получим формальное решение смешанной задачи (1)...(3):

$$\begin{aligned} u(t, x) &= \sum_{n=1}^{\infty} [w_n(t) + \\ &+ \int_0^l \int_0^l f(s, x, Q\bar{a}(s), Q^{2,\eta}\bar{a}(\delta(s, x, Q\bar{a}(s)))) \times \\ &\times b_n(x) P_n(t, s) dx ds] \cdot b_n(x). \end{aligned} \quad (15)$$

Теорема 3. Пусть выполняются условия теоремы 2. Если $\bar{a}(t) \in B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$ является решением ССНИУ (5), то ряд (15) будет решением смешанной задачи (1)...(3).

Доказательство. Так как $\bar{a}(t) \in B_{p,\alpha}^{2,\eta}(T)$, то из равенства

$$\lim_{k \rightarrow \infty} u^k(t, x) = \lim_{k \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^k a_n(t) \cdot b_n(x) = u(t, x)$$

следует, что

$$\begin{aligned} \lim_{k \rightarrow \infty} f\left(t, x, u^k(t, x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t K(t, s) u^k(\delta(s, x, u^k(s, x), x)) ds\right) &= \\ = f\left(t, x, u(t, x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_0^t K(t, s) u(\delta(s, x, u(s, x), x)) ds\right) \end{aligned} \quad (16)$$

в смысле метрики $L_p(D)$.

Строим последовательность функций:

$$V_k = \int_0^T \int_0^l \left\{ u^k(t, x) \left[\frac{\partial^3}{\partial t^3} \Phi + 3 \frac{\partial^4}{\partial t^2 \partial x^2} \Phi + 3 \frac{\partial^5}{\partial t \partial x^4} \Phi + \frac{\partial^6}{\partial x^6} \Phi \right] + \right.$$

$$\begin{aligned} &+ f\left(t, x, u^k(t, x), -\frac{\partial^2}{\partial x^2} \times \right. \\ &\times \int_0^t K(t, s) u^k(\delta(s, x, u^k(s, x), x)) ds \left. \right) \Phi \left. \right\} dx dt - \\ &\int_0^l \phi_1 \left[\frac{\partial^2}{\partial t^2} \Phi \right]_{t=0} dx + 3 \int_0^l \phi_2 \left[\frac{\partial^3}{\partial t \partial x^2} \Phi \right]_{t=0} dx - \\ &- 3 \int_0^l \phi_3 \left[\frac{\partial^4}{\partial x^4} \Phi \right]_{t=0} dx. \end{aligned} \quad (17)$$

Покажем, что при $k \rightarrow \infty$ (17) есть интегральное тождество (6), т. е. $\lim_{k \rightarrow \infty} V_k = 0$. Интегрируя по частям отдельные слагаемые в (17) и учитывая условия теоремы и начальные условия

$$a_n(0) = \phi_{1n}, a'_n(0) = \phi_{2n}, a''_n(0) = \phi_{3n},$$

имеем

$$\begin{aligned} V_k &= \int_0^l \left(\phi_1(x) - \sum_{n=1}^k \phi_{1n} b_n(x) \right) \left[\Phi_{tt} \right]_{t=0} dx - \\ &- \int_0^l \left(\phi_2(x) - \sum_{n=1}^k \phi_{2n} b_n(x) \right) \left[\Phi_t \right]_{t=0} dx + \\ &+ \int_0^l \left(\phi_3(x) - \sum_{n=1}^k \phi_{3n} b_n(x) \right) \left[\Phi \right]_{t=0} dx + \int_0^T \int_0^l \Phi(t, x) \times \\ &\times \sum_{n=1}^k \left\{ \int_0^l f(t, y, Q\bar{a}(t), Q^{2,\eta}\bar{a}(\delta(t, y, Q\bar{a}(t)))) \cdot b_n(y) dy - \right. \\ &\left. - f(t, x, Q\bar{a}(t), Q^{2,\eta}\bar{a}(\delta(t, x, Q\bar{a}(t)))) \right\} \times \\ &\times b_n(x) dx dt. \end{aligned} \quad (18)$$

Очевидно, что первые три интеграла в (18) стремятся к нулю при $k \rightarrow \infty$, так как $\phi_i(x) \in L_p(D_i)$. Сходимость разности двух последних интегралов в (18) при $k \rightarrow \infty$ следует из (16), откуда $\lim_{k \rightarrow \infty} P_k = 0$.

Это и доказывает теорему.

Библиографические ссылки

1. Юлдашев Т. К. Метод разделения переменных : учеб. пособие / Ош. гос. юрид. ин-т. Ош, 2010.
2. Юлдашев Т. К. Уравнения в частных производных четвертого порядка / Ош. гос. юрид. ин-т. Ош, 2010.
3. Юлдашев Т. К. Нелинейные интегральные и интегро-дифференциальные уравнения / Ош. гос. юрид. ин-т. Ош, 2010.

T. K. Yuldashev

**MIXED PROBLEM FOR NONLINEAR INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION
INVOLVING CUBE OF PARABOLIC OPERATOR**

In this paper we consider problems of one-valued solubility of mixed problem for a nonlinear integro-differential equation, consisting cube of parabolic operator. By the Fourier nonlinear method of separation variables we obtain the countable system of nonlinear integral equation.

Keywords: cube of parabolic operator, argument deviation, countable system of nonlinear integral equations, general derivatives, convergence of series.

© Юлдашев Т. К., 2011

РАЗДЕЛ
2

АВИАЦИОННАЯ
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ
ТЕХНИКА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Предложены технические средства диагностики состояния воздушных линий электропередач любого класса напряжения, основанные на использовании технологий определения координат и угловой пространственной ориентации объектов, предоставляемых спутниковыми радионавигационными системами ГЛОНАСС и GPS, а также современных тепловизионных приборов для локализации мест перегрева линий электропередач.

Ключевые слова: воздушная линия электропередач, тепловизор, навигация, ГЛОНАСС.

В России общая протяженность магистральных воздушных линий (ВЛ) электропередач составляет более 120 тыс. км [1]. На протяжении всего срока службы ВЛ подвергаются негативным воздействиям окружающей среды, приводящим к их износу и появлению риска повреждений. В связи с этим в процессе эксплуатации ВЛ требуется диагностировать и устранять возникающие в них повреждения, что сопряжено с необходимостью точного определения координат мест таких повреждений.

В настоящее время диагностика состояния ВЛ осуществляется традиционной системой профилактического обслуживания, основанной на очередных и внеочередных обходах и визуальных осмотрах. Облеты ВЛ на вертолетах типа «МИ-2» или «МИ-8» в значительной мере облегчают осмотр труднодоступных участков ВЛ, но они проводятся вручную. Как правило, облеты ВЛ проводит бригада обслуживающего персонала. Каждый член бригады проводит осмотр «своих» элементов ВЛ при помощи бинокля с высоты бреющего полета (100–150 м от поверхности земли) и старается успеть заполнить дефектную ведомость. Выполнить это весьма непросто, так как крейсерская скорость полета вертолета составляет 100–120 км/ч.

Таким образом, недостатками традиционной системы профилактического обслуживания являются низкая оперативность, низкая точность координат мест выявленных аварийных и предаварийных состояний энергетических объектов, большая трудоемкость, повышенная опасность проведения работ.

Выполнять задачу диагностики состояния и определения места повреждения линий электропередач и других объектов электроэнергетики способны средства тепловизионного обследования [2], позволяющие без вывода оборудования из работы выявлять дефекты на ранней стадии их развития и проводить соответствующие предупредительные ремонты. Это минимизирует возможность преждевременного выхода оборудования из строя, а также снижает вероятность аварийных отказов [3].

Для решения поставленной задачи диагностики предлагается мобильный комплекс исследования состояния энергетических объектов (см. рисунок), в состав которого входят следующие технические средства:

1. Аппаратура подвижного объекта, размещаемая, например, на борту летательного аппарата (ЛА), для решения задач диагностики и поиска мест повреждения энергетических объектов, в том числе ВЛ:

– навигационная аппаратура потребителей (НАП), например, типа МРК-32 [4], обеспечивающая определение координат, скорости движения и пространственной ориентации диагностического летательного аппарата по радиосигналам космических аппаратов (КА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС / GPS;

– тепловизор типа ТН7102 НЕС, позволяющий решать задачи обнаружения и анализа неоднородностей температурного поля энергетических объектов, выделяя участки, характеризующиеся повышенной температурой по отношению к заданным температурным пределам;

– измеритель вектора напряженности (ИВН) электромагнитного поля ВЛ, на базе показаний которого осуществляется измерение расстояния до линии и выдача предупреждений пилоту о недопустимом сокращении расстояния от ВЛ до ЛА;

– вычислительный блок, обеспечивающий совместную обработку и накопление массивов измерительной информации тепловизора, аппаратуры МРК-32 и ИВН с целью решения оперативных задач и последующего анализа результатов диагностики.

2. Аппаратура контрольно-корректирующей станции (ККС) для реализации дифференциального режима определения координат подвижного объекта и координат места повреждения:

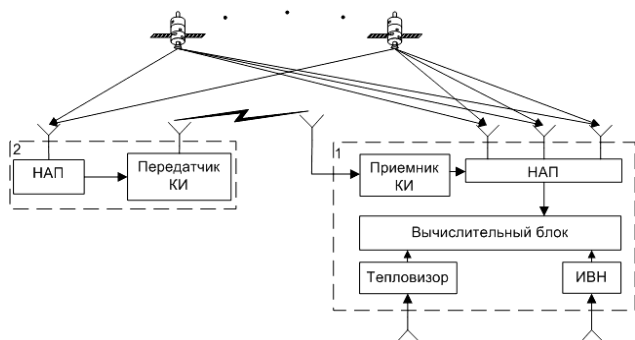
– НАП ГНСС ГЛОНАСС/GPS, осуществляющая измерения радионавигационных параметров в точке расположения ККС, координаты которой известны с геодезической точностью;

– формирователь корректирующей информации (КИ), обеспечивающий определение поправок к значениям измеренных НАП ККС радионавигационных параметров в соответствии с выражением [5]

$$\Delta r_i = r_{\text{КС}i} - \tilde{r}_{\text{КС}i}, \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, n$ – текущий номер принимаемого КА; n – общее число КА, принимаемых НАП ГНСС; $\tilde{r}_{\text{КС}i}$ – псевдодалности, измеренные ККС; $r_{\text{КС}i}$ – эталонные псевдодалности для ККС, рассчитанные исходя из известных координат ККС и эфемерид наблюдаемых навигационных спутников; Δr_i – поправки к измеренным псевдодалностям, передаваемые по радиоканалу на борт диагностического ЛА;

– передатчик КИ, обеспечивающий передачу поправок к значениям радионавигационных параметров на подвижный объект в соответствии с международным стандартом передачи корректирующей информации RTCM SC-104 [6].



Мобильный комплекс исследования состояния энергетических объектов

Тепловизор используется для формирования высококачественного тепловизионного изображения исследуемого объекта в диапазоне фокусирования от 50 см до бесконечности. Комбинация угла обзора и расстояния до измеряемого объекта определяет площадь или участок объекта, полностью охватываемый объективом тепловизора. Зависимость размеров объекта, проецируемого на один пиксель матрицы тепловизора, от расстояния до измеряемого объекта имеет вид

$$A = \frac{D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_{\text{гор}}}{2}\right)}{a}, \quad (2)$$

$$B = \frac{D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_{\text{вер}}}{2}\right)}{b},$$

где A, B – высота и ширина объекта, проецируемого на один пиксель матрицы тепловизора, соответственно; D – расстояние до измеряемого объекта; $\alpha_{\text{гор}}, \alpha_{\text{вер}}$ – горизонтальный и вертикальный углы обзора поля зрения тепловизора соответственно; a, b – число элементов в строках и столбцах микроболометрической матрицы тепловизора.

Наименьшие расстояния по вертикали от проводов ВЛ до поверхности земли в населенной местности для линий различных классов напряжений (см. Правила устройства электроустановок ПУЭ. 7-е изд. Гл. 2.5), а также параметры A и B из формул (2) при $\alpha_{\text{гор}} = 29^\circ, \alpha_{\text{вер}} = 22^\circ, a = 320, b = 240$, соответствующие характеристикам тепловизора ТН7102, приведены в табл. 1.

Таким образом, разрешающая способность тепловизора ТН7102 НЕС как технического средства диагностики является достаточной для условий измерений, приведенных в табл. 1.

Предотвращение приближения на недопустимое расстояние к ВЛ электропередач может осуществляться путем анализа принимаемых электромагнитных колебаний, излучаемых проводами ВЛ ИВН электромагнитного поля [7].

Разрешение тепловизора

Величина	Класс напряжения ВЛ, кВ				
	35	110	150	220	330
Наименьшее расстояние до измеряемого объекта D , м	7	7,5	8		
A , см	1,13	1,21	1,29		
B , см	1,13	1,21	1,30		

Для определения географических координат тепловизионного изображения обследуемого объекта необходимо решить задачу получения информации о местоположении и пространственной ориентации диагностического ЛА. Для решения данной проблемы используется аппаратура НАП ГНСС.

В качестве угломерной НАП предлагается использовать МРК-32 [4]. Данная аппаратура обеспечивает прием и обработку информации ГНСС ГЛОНАСС и GPS для определения координат места и параметров пространственной ориентации (курс, тангаж, крен) с погрешностью $0,1^\circ-0,3^\circ$. В состав одного комплекта аппаратуры МРК-32 входят три антенны и приемник ГЛОНАСС/GPS.

НАП МРК-32 функционирует как в стандартном, так и в дифференциальном режиме определения места по сигналам спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Дифференциальный режим обеспечивает определение места с более высокой точностью по сравнению со стандартным режимом, однако для его реализации требуется одновременная работа двух комплектов навигационной аппаратуры. Один комплект устанавливается на диагностическом ЛА, другой на ККС. Погрешность определения координат ЛА в дифференциальном режиме составляет от 1 до 5 м в зависимости от расстояния между ККС и объектом [3].

Преимуществами использования тепловизионного контроля являются бесконтактный способ измерения температуры (объекты энергетики являются объектами повышенной опасности), а также возможность проводить диагностику энергетических объектов без вывода оборудования в ремонт, т. е. не прекращая подачу электроэнергии потребителям. Последнее обстоятельство накладывает некоторые ограничения на возможность использования тепловизионного контроля, так как при обследовании желательна нагрузка диагностируемой энергетической системы, составляющая 50–100 % от номинальной. Указанное ограничение делает невозможным использование комплекса диагностики на обесточенных (выведенных в ремонт) энергетических объектах.

Планируемые технические характеристики мобильного комплекса исследования энергетических объектов приведены в табл. 2.

Анализ достижимых значений технических характеристик показывает, что разрабатываемый комплекс мобильных технических средств обеспечивает оперативное определение координат тепловых аномалий энергетических объектов и имеет перспективы применения в области энергетики.

Таблица 2

Технические характеристики мобильного комплекса исследования энергетических объектов

Диапазон измеряемых температур исследуемого объекта, °С	-40...+2000
Температурное разрешение, °С	0,08
Погрешность измерения температуры, %	± 2
Погрешность определения координат диагностического ЛА, м	5

Библиографические ссылки

1. URL: <http://www.fsk-ees.ru/about.html>.
2. Сучкова Г. А. Комплексное обследование и контроль технического состояния элементов ВЛ неразрушающими методами // Энергетик. 2008. № 4. С. 20–22.
3. Шалыт Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М. : Энергоатомиздат, 1982.

4. Приемоиндикатор спутниковых навигационных систем МРК-32 : рекламный проспект ФГУП НПП «Радиосвязь». Красноярск, 2006.

5. Шебшаевич В. С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. М. : Радио и связь, 1993.

6. RTCM Recommended Standards For Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service. Future Version 2.2. Future successor to RTCM recommended standards for differential NAVSTAR GPS Service Version 2.1 // RTCM Special Committee № 104. 1996. March 1.

7. Пат. 2260198 Российская Федерация, МПК⁷ G 01 S 13/93, G 08 G 5/04. Способ определения кратчайшего расстояния до высоковольтной линии электропередач с борта летательного аппарата / Яблонский В. М., Терехова Л. А. Опубл. 10.09.2005, Бюл. № 200535.

А. М. Aleshechkin, G. K. Makarenko, V. I. Kokorin

USE OF SATELLITE RADIO NAVIGATING SYSTEMS AT RESEARCHES OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRIC POWER INDUSTRY OBJECTS

In the article we consider mobile means for diagnostics of conditions of EHV power lines of any voltage class, based on object position and angular orientation determination technologies, given by GLONASS and GPS satellite radionavigational systems, and also using modern infrared video devices for localization the overheated points on overhead power lines.

Keywords: overhead power line, infra-red chamber, navigation, GLONASS.

© Алешечкин А. М., Макаренко Г. К., Кокорин В. И., 2011

УДК 629.576

М. И. Антипин

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НЕСУЩИХ КОНСОЛЕЙ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМФИБИЙНЫХ ПЛАТФОРМ

Проведен анализ влияния выноса консолей относительно центроплана на аэродинамические характеристики несущей системы в целом, получены функциональные зависимости коэффициентов подъемной силы, индуктивного сопротивления, продольного момента транспортной амфибийной платформы компоновки «составное крыло».

Ключевые слова: экранный эффект, экраноплан, эффект поддува, транспортная амфибийная платформа, составное крыло.

Одним из приоритетных направлений, озвученных руководством нашей страны – освоение Антарктики, Арктики с их богатыми месторождениями нефти и газа, развитие Крайнего Севера. Реализация данного проекта невозможна без построения мощной транспортной системы, основу которой должны составлять бесконтактные транспортные аппараты, такие как экранопланы и транспортные амфибийные платформы (ТАП), не требующие создания мощной инфраструктуры в виде дорог, аэродромов, пристаней.

ТАП – судно (летательный аппарат), использующее для своего поддержания на ходу и без хода преимущественно аэростатические силы, возникающие при направлении струи воздуха от движителей в пространство между крылом или корпусом судна и по-

верхностью моря (суши) и их частичном или полном торможении (эффект поддува) [1]. Это принципиально новый тип аппарата с динамическим принципом поддержания является промежуточным между судами на воздушной подушке и экранопланами и объединяет в себе лучшие их качества (рис. 1). ТАПы более просты, надежны и экономичны чем экранопланы.

По отношению к аппаратам на воздушной подушке они имеют следующие преимущества: вдвое большую скорость; лучшую устойчивость на курсе при боковом ветре; отсутствие гибких ограждений и простоту конструкции, существенно повышающие надежность, удешевляющие эксплуатацию, технические обслуживание и ремонт; более высокую мореходность.

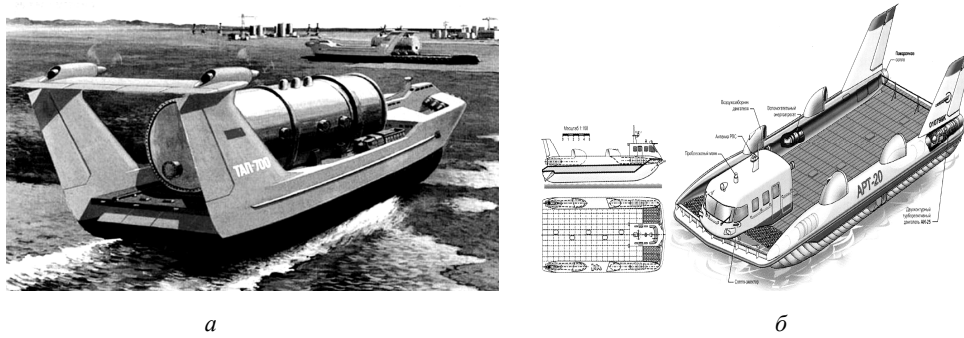


Рис. 1

На сегодняшний день ТАПы разрабатываются ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева: ТАП-30, ТАП-120, ТАП-150, ТАП-300, ТАП-500, ТАП-700 (рис. 1, а) грузоподъемностью от 10 до 300 т, мореходностью от 1,0 до 2,5 м, и ЗАО «Амфибийные транспортные технологии»: «Акваглайд-60», «Акваглайд-200», АРТ-20 (рис. 1, б), представляющие собой платформу с поддувной системой для создания подушки подобно экранопланам «Орленок», «КМ», «Лунь» и др.

К недостаткам ТАП необходимо отнести постоянный контакт с подстилающей поверхностью, что приводит к повреждению амортизирующих взлетно-посадочных устройств – баллонетов-скегов – и ограничение мореходности при волнении. Кроме этого необходимо отметить, что при крейсерском режиме движения доля экранного эффекта, реализуемого на транспортной платформе, на сегодня составляет не более 20 %. Все эти указанные недостатки не обеспечивают высокие технико-экономические показатели транспортных амфибийных платформ.

Улучшить транспортную эффективность ТАП и повысить мореходные качества при волнении можно выполнив платформу в виде компоновки «составное крыло», предложенной в 1970-х гг. Р. Е. Алексеевым, с целью максимальной реализации экранного эффекта на консолях и эффекта поддува на центроплане, а также обеспечив устойчивость как вблизи экрана, так и вне его пределов.

Остается открытым вопрос о том, как влияет вынос консолей в горизонтальной и вертикальной плоскостях относительно центроплана, наличие угла поперечного V консолей, шайб на аэродинамические характеристики всей несущей системы в целом и как определить числовые значения основных аэродинамических характеристик: коэффициента подъемной силы, продольного момента и индуктивного сопротивления.

Основной целью исследования являлось изучение влияния выноса консолей в горизонтальной плоскости относительно центроплана, при этом необходимо было решить следующие задачи:

- получить функциональные зависимости аэродинамических коэффициентов $c_y = f(\alpha, h)$, $m_z = f(\alpha, h)$, $c_{xi} = f(\alpha, h)$ составного крыла;
- определить рациональное положение консолей, позволяющее получить максимальное значение коэф-

фициента подъемной силы и аэродинамического качества при проектировании ТАП.

Решение задач проходило в два этапа:

1) построение функциональных зависимостей $c_y = f(\alpha)$, $m_z = f(\alpha)$, $c_{xi} = f(\alpha)$ компоновки «составное крыло» вне экрана и $c_y = f(\alpha, h)$, $m_z = f(\alpha, h)$, $c_{xi} = f(\alpha, h)$ вблизи экрана в первом приближении и сингулярного интегрального уравнения несущей поверхности;

2) численное решение данного уравнения панельным методом – определение числовых значений $c_y(\alpha, h)$, $m_z(\alpha, h)$, $c_{xi}(\alpha, h)$ в зависимости от положения консолей.

Перейдем к рассмотрению каждого этапа.

Для получения функциональных зависимостей $c_y = f(\alpha)$, $m_z = f(\alpha)$, $c_{xi} = f(\alpha)$ компоновки «составное крыло» вне экрана, каждая консоль, включая центроплан, заменялась П-образным вихрем постоянной циркуляции (рис. 2).

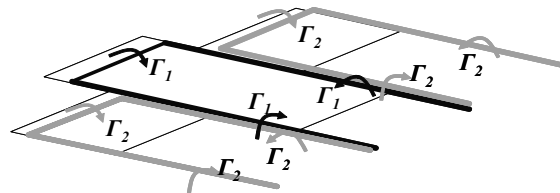


Рис. 2

На основе закона Био–Савара учитывалось влияние свободных и присоединенных вихрей элементов несущей поверхности в виде средних дополнительных индуцированных углов:

– центроплана:

$$i_{12} = \frac{c_{y2} \bar{l}_{21}}{8\pi\chi_1} \int_{-l_1/2}^{l_1/2} \frac{1}{(\chi_1 l_1 / 2 + y)} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + (\chi_1 l_1 / 2 + y)^2}} \right) + \frac{1}{(\chi_1 l_1 / 2 - y)} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + (\chi_1 l_1 / 2 - y)^2}} \right) - \left[\frac{1}{(\chi_2 l_2 + \chi_1 l_1 / 2 + y)} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + (\chi_2 l_2 + \chi_1 l_1 + y)^2}} \right) + \frac{1}{\chi_2 l_2 + \chi_1 l_1 / 2 - y} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 + (\chi_2 l_2 + \chi_1 l_1 / 2 - y)^2}} \right) \right] dy,$$

– консолей:

$$i_{21} = \frac{c_{y1}}{8\pi\chi_2\bar{l}_{21}} \int_{-l_2/2}^{l_2/2} \frac{1}{(\chi_2 l_2 / 2 - y)} \times$$

$$\times \left(1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 + (\chi_2 l_2 / 2 - y)^2}} \right) + \frac{\overline{c_{y21}} \cdot \bar{l}_{21}}{(\chi_2 l_2 / 2 - y + \chi_1 l_1)}$$

$$\left[\frac{1}{(\chi_2 l_2 / 2 + \chi_1 l_1 - y)} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{x^2 + (\chi_1 l_1 + \chi_2 l_2 / 2 - y)^2}} \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\overline{c_{y21}} \cdot \bar{l}_{21}}{3\chi_2 l_2 / 2 + \chi_1 l_1 - y} \right] dy.$$

Тогда выражения для определения коэффициента подъемной силы и индуктивного сопротивления имеют вид

$$c_y = c_{y1}^\alpha (\alpha - i_{12}) \bar{S}_1 + 2c_{y2}^\alpha (\alpha - i_{21}) \bar{S}_2,$$

$$c_{xi} = c_{xi1} \bar{S}_1 + 2c_{xi2} \bar{S}_2 =$$

$$= \frac{(c_{y1}^\alpha (\alpha - i_{12}))^2}{\pi\lambda_1} \bar{S}_1 + 2 \frac{(c_{y2}^\alpha (\alpha - i_{21}))^2}{\pi\lambda_2} \bar{S}_2.$$

Данные зависимости позволяют заменить сложное составное крыло прямоугольным крылом, эквивалентным в аэродинамическом смысле, и производить оценку аэродинамических характеристик для всего аппарата с несущей поверхностью прямоугольной формы в плане. Аэродинамические характеристики эквивалентной несущей поверхности можно оценить по формуле

$$c_y = c_{y\Sigma}^\alpha \alpha, \quad c_{xi} = \frac{c_{y\Sigma}^2}{\pi\lambda},$$

где

$$c_{y\Sigma}^\alpha = c_{y1}^\alpha (1 - \bar{i}_{12}) \bar{S}_1 + 2c_{y2}^\alpha (1 - \bar{i}_{21}) \bar{S}_2,$$

$$c_{y\Sigma} = \sqrt{\frac{(c_{y1}^\alpha (\alpha - i_{12}))^2}{\lambda_1} \bar{S}_1 + 2 \frac{(c_{y2}^\alpha (\alpha - i_{21}))^2}{\lambda_2} \bar{S}_2}.$$

Получение функциональных зависимостей определения коэффициента подъемной силы, индуктивного сопротивления вблизи экрана для составного крыла сводилось к замене «твердой стенки» крылом, находящимся на расстоянии $2h$ от первого, где h – расстояние от несущей поверхности до экрана (рис. 3). Тогда, зная зависимости для определения коэффициента подъемной силы, индуктивного сопротивления крыла прямоугольной формы в плане вблизи экрана, можно определить эти же коэффициенты для эквивалентного крыла, заменяющего составное крыло, и тем самым оценить аэродинамические характеристики ТАП с консолями.

В этом случае, с учетом влияния экрана, зависимости для определения коэффициента подъемной силы, индуктивного сопротивления примут вид

$$c_y = c_{y0}^\alpha \left(\alpha + \frac{c_{y0}}{16\pi\chi h} \zeta \right),$$

$$c_{xi} = \frac{\left[c_{y0}^\alpha \left(\alpha + \frac{c_{y0}}{16\pi\chi h} \zeta \right) \right]^2}{\pi\lambda},$$

где

$$\zeta = \int_{-L/2}^{L/2} \frac{\chi l / 2 + y}{\sqrt{(\chi l / 2 + y)^2 + 4h^2}} + \frac{\chi l / 2 - y}{\sqrt{(\chi l / 2 - y)^2 + 4h^2}} dy,$$

$$c_{y0} = c_{y\Sigma}^\alpha \alpha.$$

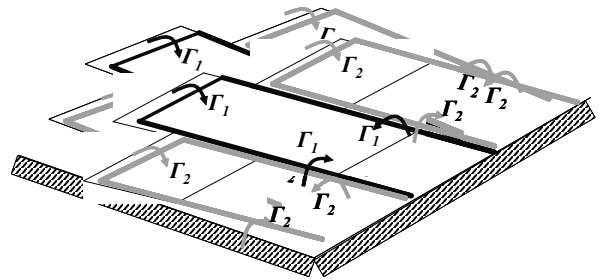


Рис. 3

Данные выражения позволяют в первом приближении оценить коэффициенты подъемной силы, индуктивного сопротивления. Однако распределение циркуляции по размаху несущей поверхности не постоянно, как было принято выше, а имеет параболический характер при движении крыла вблизи экрана [1; 2]. Поэтому для получения более адекватной модели аэродинамических характеристик необходимо заменить несущую поверхность ТАП тонкой поверхностью (это равносильно, поскольку относительная толщина несущей поверхности платформы не превышает $c = 6\%$) и решить нелинейную задачу ее обтекания идеальной жидкостью.

Для этого тонкую несущую поверхность заменили вихревой пеленой, для которой, выполняя условия непротекания, получили сингулярное интегральное уравнение:

$$-\alpha + \frac{\partial f}{\partial x} = -\frac{1}{4\pi V_\infty} \int_S \frac{\gamma(x, z)}{z - z_0} \left[1 + \frac{x - x_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2}} \right] +$$

$$+ \frac{\gamma(x, z)}{\sqrt{(z - z_0)^2 + 4(H + (0,5b - x_0) \sin \alpha)^2}} \times$$

$$\times \left[1 + \frac{x - x_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 + 4(H + (0,5b - x_0) \sin \alpha)^2}} \right] dS.$$

Разрешить данное сингулярное уравнение относительно циркуляции возможно, используя численные методы, в частности, панельный метод или метод дискретных вихрей, имеющий преимущества перед другими численными методами в меньшем затрата машинных ресурсов по сравнению с методом конечных элементов, методом граничных элементов, методом конечных разностей и, самое главное, учитывающий физику явления. В этом случае вихревая пе-

лена заменялась системой П-образных вихрей постоянной циркуляции:

$$\frac{1}{4\pi} \sum_{\kappa} \int_0^b \left\{ \frac{(x-x_1)(x_2-x_1) + (z-z_1)(z_2-z_1)}{\sqrt{[(x-x_1)^2 + (z-z_1)^2] \cdot [(x_2-x_1)^2 + (z_2-z_1)^2]}} + \frac{(x-x_2)(x_1-x_2) + (z-z_2)(z_1-z_2)}{\sqrt{[(x-x_2)^2 + (z-z_2)^2] \cdot [(x_2-x_1)^2 + (z_2-z_1)^2]}} \right\} \cdot [(z_2-z_1)x + z_1x_2 - z_2x_1 - z(x_2-x_1)](x_2-x_1)\gamma(x)dx +$$

$$+ \frac{1}{4\pi} \int_0^b \frac{\gamma(x)}{z_1-z} \left\{ 1 - \frac{x_1-x}{\sqrt{(x_1-x)^2 + (z_1-z)^2}} \right\} dx +$$

$$+ \frac{1}{4\pi} \int_0^b \frac{\gamma(x)}{z_2-z} \left\{ 1 - \frac{x_2-x}{\sqrt{(x_2-x)^2 + (z_2-z)^2}} \right\} dx -$$

$$- \frac{1}{4\pi} \sum_{\kappa} \int_0^b \left\{ \frac{(x-\bar{x}_1)(\bar{x}_2-\bar{x}_1) + (z-\bar{z}_1)(\bar{z}_2-\bar{z}_1)}{\sqrt{[(x-\bar{x}_1)^2 + (z-\bar{z}_1)^2] \cdot [(\bar{x}_2-\bar{x}_1)^2 + (\bar{z}_2-\bar{z}_1)^2]}} + \frac{(x-\bar{x}_2)(\bar{x}_1-\bar{x}_2) + (z-\bar{z}_2)(\bar{z}_1-\bar{z}_2)}{\sqrt{[(x-\bar{x}_2)^2 + (z-\bar{z}_2)^2] \cdot [(\bar{x}_2-\bar{x}_1)^2 + (\bar{z}_2-\bar{z}_1)^2]}} \right\} \cdot [(\bar{z}_2-\bar{z}_1)x + \bar{z}_1\bar{x}_2 - \bar{z}_2\bar{x}_1 - z(\bar{x}_2-\bar{x}_1)](\bar{x}_2-\bar{x}_1)\gamma(x)dx -$$

$$- \frac{1}{4\pi} \int_0^b \frac{\gamma(x)}{z_1-z} \left\{ 1 - \frac{\bar{x}_1-x}{\sqrt{(\bar{x}_1-x)^2 + (z_1-z)^2}} \right\} dx -$$

$$- \frac{1}{4\pi} \int_0^b \frac{\gamma(x)}{z_2-z} \left\{ 1 - \frac{\bar{x}_2-x}{\sqrt{(\bar{x}_2-x)^2 + (z_2-z)^2}} \right\} dx = 0.$$

Решая полученную систему линейных уравнений, определялась величина циркуляции, по значению которой, используя теорему Жуковского «в малом», вычисляли аэродинамические характеристики: коэффициент подъемной силы, продольного момента, безразмерную величину аэродинамического давления.

Проведена серия численных экспериментов, включающих моделирование составного крыла без шайб на центроплане и с шайбами высотой $\bar{h} = 0,05$, результатом которых явилось следующее: графическое представление распределения коэффициента давления по поверхности аппарата (рис. 4), числовые значения коэффициента подъемной силы, продольного момента, безразмерной координаты аэродинамического фокуса (рис. 5).

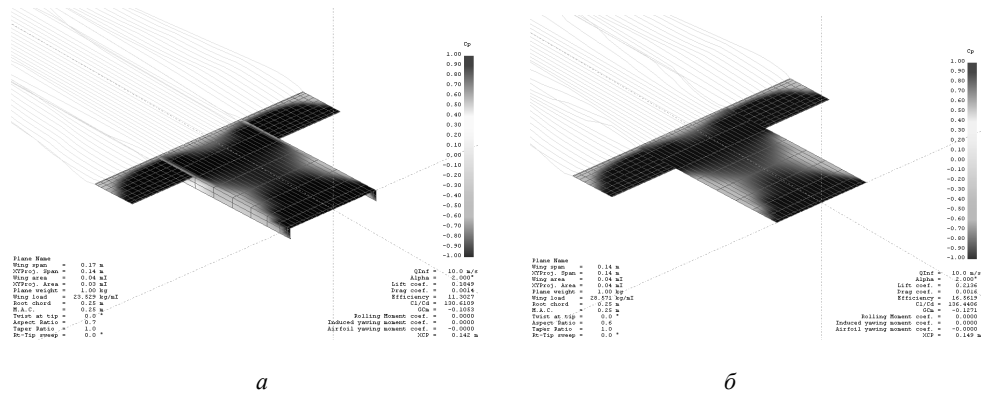


Рис. 4: а – составное крыло с шайбами; б – составное крыло без шайб

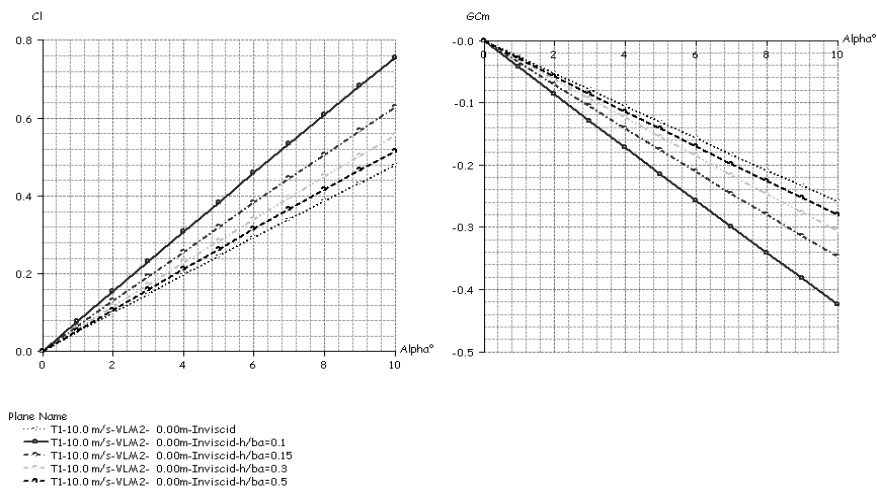


Рис. 5

На основе полученных числовых значений аэродинамических коэффициентов сделаны следующие выводы:

– перемещение консолей вдоль центроплана к хвостовой части приводит к увеличению продольного пикирующего момента и, как следствие, увеличению координат фокусов, при этом зависимость момента от положения консолей, как и фокусов, имеет линейный вид, однако при приближении к хвостовой части продольный момент имеет параболическую зависимость от координаты положения консолей (рис. 6, 7);

– максимальная несущая способность платформы без шайб реализуется при центральном расположении консолей, при этом зависимость между положением консолей и коэффициентом подъемной силы имеет параболический характер, и выражен он тем сильнее, чем меньше отстояние от экрана и больше угол атаки (рис. 7);

– установка шайб высотой $\bar{h} = 0,05$ на центроплан приводит к некоторому уменьшению несущей способности всей системы, это связано с отрицательным взаимным влиянием шайб и консолей крыла (рис. 6, а); уменьшить отрицательное влияние можно придав консолям положительный угол поперечного V или вынеся их выше центроплана, как это сделано на проекте экраноплана ЭП-200 (ЗАО «АТТ-АТТК»);

– максимальное значение коэффициента подъемной силы достигается при более переднем расположении консолей по сравнению с вариантом без шайб, при этом график зависимости коэффициента подъемной силы от положения консолей имеет меньшую величину кривизны по сравнению с тем же графиком для составного крыла без шайб, что говорит об уменьшении влияния положения консолей на аэродинамические характеристики платформы с установленными шайбами (рис. 7);

– наличие шайб приводит к увеличению безразмерных координат фокусов (смещению к хвостовой кромке) и меньшей чувствительности от величины отстояния от экрана, что обеспечит установку для балансировки меньшей площади оперения, а следовательно, более высокую транспортную эффективность.

Используя числовые значения аэродинамических характеристик, полученных в ходе численного экспе-

римента, на основе метода наименьших квадратов получены функциональные зависимости для определения значений аэродинамических коэффициентов составного крыла:

– подъемной силы:

$$c_y(\alpha, h, \bar{x}) = (c_{y_{aoc}} \bar{S}_1 + c_{y_{aok}} \bar{S}_2) \frac{\lambda_2^{0,227} S_1^{0,005} \bar{x}^{-0,14}}{\alpha^{0,21} h^{0,042} \lambda_1^{0,42} S_2^{0,012}};$$

– продольного момента:

$$m_z(\alpha, h, \bar{x}) = (m_{z_{aoc}} \bar{S}_1 + m_{z_{aok}} \bar{S}_2 - c_{y_{aok}} \bar{x}) \frac{h^{0,075} S_2^{0,205}}{\alpha^{0,76} \lambda_2^{6,51} \lambda_1^{0,71} S_1^{0,38}};$$

– индуктивного сопротивления:

$$c_{xi} = \frac{[c_y(a, h, \bar{x})]^2}{\pi \lambda} (1 + \Delta) - \frac{[c_y(a, h, x)]^2}{8 \pi \lambda k} \times \ln \left(\frac{k + 1 + \sqrt{4h_i^2 \cdot \cos^2(\alpha) + (k + 1)^2}}{k - 1 + \sqrt{4h_i^2 \cdot \cos^2(\alpha) + [k - 1]^2}} + \frac{1 - k + \sqrt{4h_i^2 \cdot \cos^2(\alpha) + (k - 1)^2}}{-1 - k \sqrt{4h_i^2 \cdot \cos^2(\alpha) + [k + 1]^2}} \right),$$

при этом среднеквадратичное отклонение получаемых результатов составляет не более 0,05.

Таким образом, на основе числовых результатов численных экспериментов получены функциональные зависимости, позволяющие оценить аэродинамические характеристики проектируемых ТАП компоновки «составное крыло», а также сделать следующий вывод: при проектировании новых ТАП данной компоновки с целью увеличения мореходности при волнении оптимальным будет центральное размещение консолей с установленными на центроплане шайбами.

Библиографические ссылки

1. Машиностроение : энцикл. / под ред. К. В. Фролова и др. СПб. : Политехника, 2004.
2. Панченков А. Н., Драчев П. Т., Любимов В. И. Экспертиза экранопланов. Н.-Новгород : Типография «Поволжье», 2006.

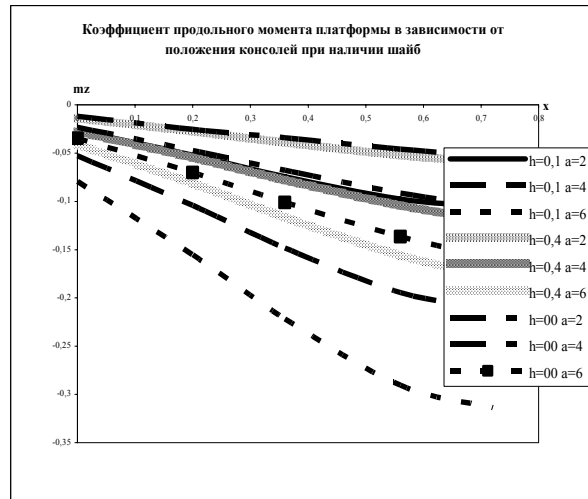
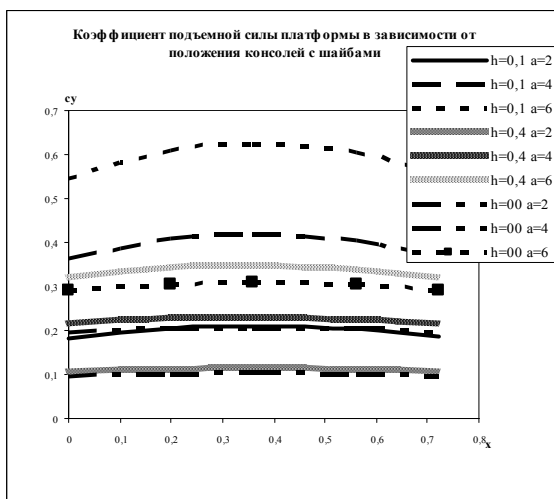


Рис. 6: а — $c_y = f(\alpha, h, \bar{x}_k)$ платформы с шайбами; б — $m_z = f(\alpha, h, \bar{x}_k)$ платформы с шайбами

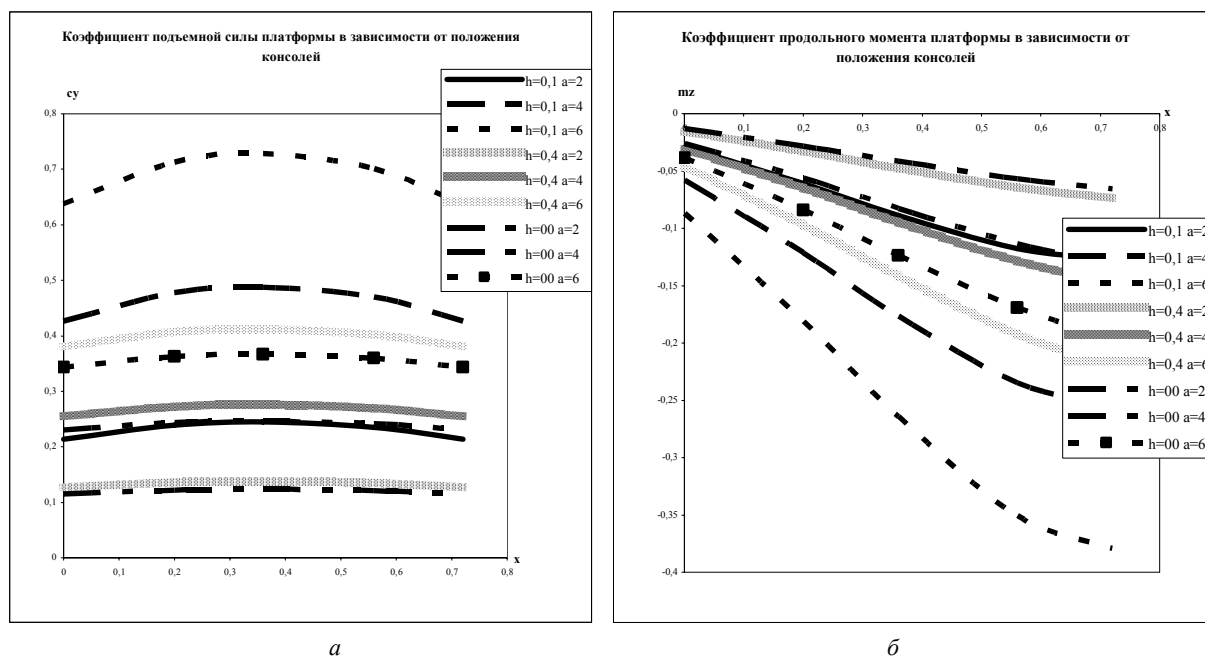


Рис. 7: $a - c_y = f(\alpha, h, \bar{x}_k)$ платформы без шайб; $b - m_z = f(\alpha, h, \bar{x}_k)$ платформы без шайб

М. И. Антипин

INFLUENCE OF POSITION OF BEARING CONSOLES ON AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF AMPHIBIAN PLATFORMS

In the article the author presents analysis of influence of carrying out of consoles against the central part wing on aerodynamic characteristics of bearing system as a whole, functional dependences of coefficients of carrying power, inductive resistance, longitudinal moment, transport amphibian configuration platforms «Composed wing» are received.

Keywords: wing ground effect, ekranoplane, effect of «creation of a static pillow», transport amphibian platform, composed wing.

© Антипин М. И., 2011

УДК 629.783.525

Ю. М. Ермошкин

ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТАХ ПРИКЛАДНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

При проектировании космических аппаратов (КА) прикладного назначения необходимо определить тип двигательной установки коррекции орбиты. В настоящее время проводятся интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИИР и ОКР) по созданию электрореактивных двигательных установок (ЭРДУ) в широком диапазоне мощностей. Уточняются области рационального применения ЭРДУ в сравнении с другими типами двигательных систем. Эта проблема особенно актуальна для малых КА.

Ключевые слова: космический аппарат, двигатель, двигательная установка, суммарный импульс, удельный импульс, тяга.

Области рационального применения электрореактивных двигательных установок космических аппаратов хорошо известны: это так называемая маршевая задача или полеты в дальний космос, буксирная задача, т. е. транспортировка грузов с низкой опорной или

переходной орбиты на геостационарную, и коррекция орбиты геостационарных спутников [1–3]. Последняя задача является наиболее актуальной. Электрореактивные двигатели (ЭРД) нашли широкое применение на геостационарных спутниках [4]. Электрореактив-

ные буксиры, несмотря на многочисленные НИР в этой области, пока не созданы. Полеты в дальний космос на электрореактивных двигателях являются эпизодическими [3].

В целом, области применения ЭРДУ очевидны: это задачи, требующие выработки значительного суммарного импульса, порядка десятков и сотен тонна-секунд ($\sim 10^6$ Н·с). В этой области ЭРДУ находятся вне конкуренции, так как электрореактивные двигатели по расходу рабочего тела намного экономичнее двигателей на химическом топливе. Вследствие этого масса заправленной ЭРДУ получается намного меньше, чем у систем на базе жидкостных реактивных двигателей (ЖРД), даже с учетом довольно значительной массы как самих двигателей, так и систем хранения и подачи рабочего тела (СХПРТ), систем преобразования и управления (СПУ). Однако в связи с прогрессом в создании новых облегченных СХПРТ и СПУ, новых более экономичных двигателей, граница, начиная с которой применение ЭРДУ становится целесообразным, изменяется. Кроме того, разработчики предлагают все новые модели и модификации ЭРД для применения на разнообразных КА прикладного назначения, в особенности для малых КА. Поэтому вопрос об области рационального применения ЭРДУ не теряет актуальности.

К аппаратам прикладного назначения можно отнести разнообразные КА, решающие задачи в интересах народного хозяйства, например, такие как КА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), КА связи и навигации на низких (до 500 км) орбитах, навигационные КА на высоких круговых орбитах, КА связи на высокоэллиптических орбитах, геостационарные КА.

Задачами настоящей работы являются:

- определение основных требований к двигательным установкам (ДУ) коррекции орбиты КА прикладного назначения;

- уточнение области рационального применения электрореактивных ДУ коррекции с учетом реально достигнутого уровня разработок элементов двигательных подсистем.

Определение основных требований к двигательным установкам коррекции орбиты космических аппаратов прикладного назначения. К основным требованиям, предъявляемым к двигательной установке коррекции со стороны КА, можно отнести тягу двигателя и суммарный импульс тяги (произведение тяги на время работы двигателя). Первый параметр определяет динамику маневров, совершаемых с помощью двигательной установки, а второй – энергетические возможности ДУ по выполнению функциональной задачи. Рассмотрим задачи, которые возлагаются на ДУ коррекции орбиты для указанных выше КА разных классов.

Космические аппараты дистанционного зондирования Земли. Так как космические аппараты дистанционного зондирования Земли летают на относительно низких орбитах, очевидно, что их ДУ коррекции, в первую очередь, должна компенсировать силу аэродинамического сопротивления. Поэтому тяга ДУ

должна быть в первом приближении равна силе аэродинамического сопротивления, которую можно оценить по известной формуле:

$$F_{\text{сопр}} = C_x \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (1)$$

где C_x – коэффициент сопротивления в направлении полета; ρ – плотность остатков атмосферы на высоте полета; V – скорость спутника; S – площадь миделя.

Зависимость плотности от высоты для стандартной атмосферы определена стандартом [5]. Примем в качестве типовой высоту полета 500 км. Для такой высоты и средней солнечной активности указанный ГОСТ дает значение плотности $\rho = 5,35 \cdot 10^{-13}$ кг/м³. Аэродинамический коэффициент C_x для свободномолекулярного течения газа (который, очевидно, имеет место на высоте 500 км) при обтекании пластины оценим по формуле, приведенной в [6]:

$$C_x = \sin\beta \left[\frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{C_m}{C \sin\beta} \exp\left(-\frac{C^2 \sin^2\beta}{C_m^2}\right) + \frac{C_m}{C} \sqrt{\pi} \sin\beta + \left(\frac{C_m^2}{C^2} + 2\right) \operatorname{erf}\left(\frac{C \sin\beta}{C_m}\right) \right], \quad (2)$$

где β – угол атаки пластины к набегающему потоку; C – скорость потока (скорость спутника на круговой орбите высотой $H = 500$ км $\sim 8,21 \cdot 10^3$ м/с);

$C_m = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$ – наиболее вероятная скорость молекул

газа в распределении Максвелла; T – температура газа; R – универсальная газовая постоянная; μ – молекулярный вес; erf – интеграл вероятности.

Примем, что типовой КА ДЗЗ имеет кубическую форму с площадью миделя 2 м², угол атаки $\beta = 90^\circ$. Согласно модели космоса [7] на высотах более 90 км (в термосфере) температура может достигать от 500 до 2 000 К в зависимости от состояния Солнца. Примем, что на высоте 500 км для средних условий солнечной активности температура составляет 1 000 К. Средний молекулярный вес за счет роста доли молекулярного кислорода снижается относительно воздуха и составляет 27–28 (28,73 на высоте 95 км). Примем, что на высоте 500 км $\mu = 27,5$. Подставляя принятые значения в приведенные выше формулы, получаем $C_m = 777,6$ м/с. С учетом того, что при данном соотношении наиболее вероятной скорости и скорости набегающего потока значение экспоненциальной функции в формуле (2) равно нулю с большой степенью точности, а интеграл вероятности принимает значение 1, формула для вычисления коэффициента лобового сопротивления резко упрощается:

$$C_x = \frac{C_m}{C} \sqrt{\pi} + \frac{C_m^2}{C^2} + 2 \quad (3)$$

Подставляя полученные значения в формулу (3), получаем: коэффициент $C_x = 2,17$, сила сопротивления $F_{\text{сопр}} = 8 \cdot 10^{-3}$ гс ($\approx 8 \cdot 10^{-5}$ Н). Эта величина определяет минимальное значение требуемой тяги двига-

теля. Суммарный импульс, который необходимо выработать для компенсации данной силы сопротивления за характерный срок службы спутника ДЗЗ ~ 5 лет, составит: $I_{\Sigma} = F_{\text{сопр}} \cdot \tau \approx 1\,260 \text{ кгс}\cdot\text{с}$ ($1,26 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{с}$). Для сравнения, в статье [8] для КА массой около 1 500 кг площадью миделя 9 м^2 на орбите высотой 320 км сила аэродинамического сопротивления оценивается величиной 5,8 мН ($\approx 0,58 \text{ гс}$).

Спутники связи на низких круговых орбитах. Существуют системы связи на базе спутников на относительно низких (1 350–1 500 км) орбитах, например, система «Гонец». Задачей двигательной установки такого КА является: а) коррекция приведения для устранения ошибок выведения и обеспечения требуемого аргумента широты для равномерного распределения спутников (фазировки) по орбите; б) коррекции удержания, предназначенные для поддержания требуемого значения аргумента широты. Требуемая тяга двигателя – от 10 до 120 гс ($\sim 0,1\text{--}1,2 \text{ Н}$), суммарный импульс для срока активного существования (САС) 5 лет – около 500 кгс·с ($\sim 5 \text{ кН}\cdot\text{с}$).

Навигационные КА на высоких круговых орбитах. Для навигационных КА («Глонасс», «Глонасс-М») на высоких круговых орбитах задачи двигательной подсистемы в принципе аналогичны связным спутникам на низких круговых орбитах. Тяга двигателей коррекции может находиться в пределах 100–500 гс ($\sim 1\text{--}5 \text{ Н}$), суммарный импульс 4,5–5 т·с ($\sim 45\text{--}50 \text{ кН}\cdot\text{с}$).

Спутники связи на высокоэллиптических орбитах. Для обеспечения связи в высоких широтах применяются спутники на высокоэллиптических (с апогеем порядка 40 000 км) орбитах, например, КА типа «Молния». Двигательные установки таких КА предназначены для устранения ошибок выведения и компенсации возмущений орбиты вследствие воздействия естественных факторов. Требуемая тяга двигателя – от 1 до 200 кгс ($\sim 10\text{--}2\,000 \text{ Н}$), суммарный импульс – 7–8 т·с ($\sim 70\text{--}80 \text{ кН}\cdot\text{с}$).

Геостационарные спутники. Задачей двигательной установки коррекции геостационарного спутника фиксированной связи является устранение ошибок выведения, приведение КА в требуемую точку стояния, коррекции удержания по широте и долготе в течение срока активного существования, который для данного типа КА составляет, как правило, не менее 15 лет, перевод при необходимости из одной точки в другую и увод на орбиту захоронения в конце САС.

Тяга двигателя для типового КА массой порядка 3 000 кг с учетом требуемой динамики маневров в начальный период эксплуатации должна быть не менее 6–8 гс ($\sim 60\text{--}80 \text{ мН}$) [9]. Суммарный импульс за САС 15 лет – 350–400 т·с ($\sim 3\,500\text{--}4\,000 \text{ кН}\cdot\text{с}$). Для КА меньшей массы, например, на базе платформы «Экспресс-1000», можно применять двигатели меньшей размерности, тягой 4–5 гс ($\sim 40\text{--}50 \text{ мН}$). Суммарный импульс ДУ коррекции для таких КА также, соответственно, меньше и составляет 180–200 т·с ($\sim 1\,800\text{--}2\,000 \text{ кН}\cdot\text{с}$).

Обобщим полученные выше данные о требуемой тяге и суммарном импульсе ДУ коррекции для КА разных классов в табл. 1.

Уточнение области рационального применения электрореактивных двигательных установок. Электрореактивные двигатели (стационарные) и двигательные установки на их основе при реальных мощностях систем электропитания рассматриваемых типов КА обладают следующими характерными параметрами: тяга одного двигателя – от долей грамма до 8–10 г ($10^{-3}\text{--}10^{-1} \text{ Н}$), суммарный импульс – в зависимости от заправки рабочим телом – до 500 т·с ($\sim 5\,000 \text{ кН}\cdot\text{с}$).

Как следует из табл. 1, для двигателей коррекции навигационных КА и КА связи на высокоэллиптических орбитах (ВЭО) предъявляются относительно высокие требования по тяге, которые при реальных уровнях энергообеспечения КА реализовать с помощью ЭРД невозможно. Такие требования по тяге объясняются стремлением обеспечить эффективность коррекций, которые необходимо проводить в оптимальных и ограниченных по времени участках орбиты (например, в перигее для КА на ВЭО), а также сократить этап ввода спутника в эксплуатацию. Оценки суммарной массы заправленных ДУ различных типов с учетом массы имеющегося оборудования (баки, СПУ, системы подачи рабочего тела) показали, что примерное равенство масс ЭРДУ с ДУ на химическом топливе наблюдается в диапазоне суммарных импульсов 10–13 т·с ($\sim 100\text{--}130 \text{ кН}\cdot\text{с}$). При больших суммарных импульсах становится легче ЭРДУ, а при меньших – ДУ на базе ЖРД.

Так как для навигационных КА и КА на ВЭО требуемый суммарный импульс заметно ниже указанной границы, то, очевидно, для названных двух типов КА электрореактивные ДУ неприменимы по причине недостаточной тяги двигателей и чрезмерной массы.

Таблица 1

Требования к двигательным установкам прикладных КА

КА	Требуемая тяга ДУ коррекции	Суммарный импульс ДУ коррекции
ДЗЗ	$8\text{--}10 \cdot 10^{-3} \text{ гс}$ ($\sim 8\text{--}10 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$)	1,2–1,5 т·с ($\sim 12\text{--}15 \text{ кН}\cdot\text{с}$)
Связные на низких круговых орбитах	10–120 гс ($\sim 0,1\text{--}1,2 \text{ Н}$)	500 кгс·с ($\sim 5 \text{ кН}\cdot\text{с}$)
Навигационные на высоких круговых орбитах	100–500 гс ($\sim 1\text{--}5 \text{ Н}$)	4,5–5 т·с ($\sim 45\text{--}50 \text{ кН}\cdot\text{с}$)
Связные на высокоэллиптических орбитах (ВЭО)	1–200 кгс ($\sim 10\text{--}2000 \text{ Н}$)	7–8 т·с ($\sim 70\text{--}80 \text{ кН}\cdot\text{с}$)
Геостационарные	4–8 гс (min) ($\sim 40\text{--}50 \text{ мН}$)	180–400 т·с ($\sim 1\,800\text{--}4\,000 \text{ кН}\cdot\text{с}$)

Из этого следует, что из названных выше типов прикладных КА ЭРДУ потенциально применимы для геостационарных КА, спутников ДЗЗ и спутников связи на низких орбитах. Поскольку целесообразность применения ЭРДУ для геостационарных КА очевидна и не требует особых доказательств, фактически остается открытым только вопрос о целесообразности применения ЭРДУ на КА ДЗЗ и малых связных спутниках на круговых низких орбитах. Аргументы к решению этого вопроса можно получить путем сравнения масс заправленных ДУ, различных конкурирующих типов, в диапазоне суммарных импульсов 500–1 500 кгс·с (~5–15 кН·с).

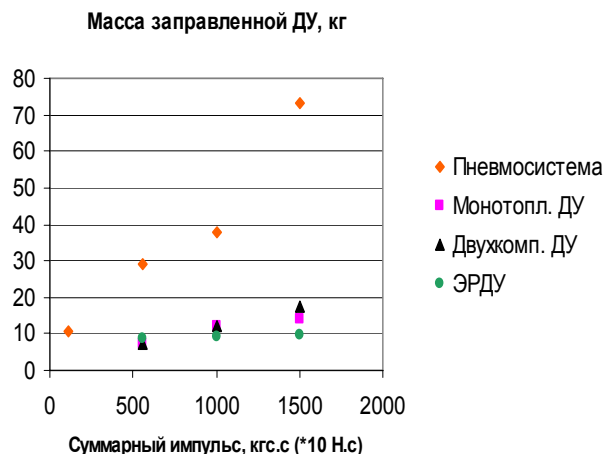
Оценка масс заправленных двигательных установок различных типов для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и малых спутников связи. При оценке суммарной массы ДУ различных типов будем исходить из следующих общих принципов построения функциональной схемы:

- тяга двигателя коррекции приложена только в одном направлении (вдоль оси КА);
- двигателей коррекции – два (основной и резервный);
- схема подачи топлива (рабочего тела) – резервируемая;
- применяются специально разработанные для малых КА элементы уменьшенной размерности (по сравнению с аналогичными элементами для геостационарных КА) – двигатели, баки, системы подачи, системы электропитания и управления;
- баки допускают варьирование заправки в пределах своей емкости;
- при изменении заправки в широких пределах используется набор одинаковых баков, примененных для наименьших требований по суммарному импульсу;
- применяется оборудование отечественной разработки, в частности, баки с мембранным разделителем, редукторы, электроклапаны.

В качестве конкурирующих типов ДУ рассмотрим следующие системы, реализация которых не представляет принципиальных затруднений:

- пневмосистема на холодном азоте (принят удельный импульс 67 с);
- монотопливная ДУ на гидразине (удельный импульс – 214 с);
- жидкостная двухкомпонентная ДУ на стандартных компонентах (удельный импульс – 274 с);
- электрореактивная ДУ на базе стационарных плазменных (холловских) двигателей малой размерности, работающих на ксеноне (удельный импульс – 1000 с).

Результаты расчетов представлены в табл. 2. и на рисунке.



Массы заправленных ДУ различных типов для малых КА в зависимости от требуемого суммарного импульса

Данные табл. 2 и рисунка позволяют заключить следующее:

1. Масса пневмосистемы на холодном азоте получается приемлемой только при небольших суммарных импульсах – порядка 100 кгс·с (~1 кН·с). При суммарных импульсах 500 кгс·с (5 кН·с) и более пневмосистема за счет малого удельного импульса сильно проигрывает по массе другим типам ДУ.
2. Массы однокомпонентной, двухкомпонентной и электрореактивной ДУ примерно равны при суммарном импульсе около 750 кгс·с (~7,5 кН·с). В диапазоне 500–1 000 кгс·с (~5–10 кН·с) массы ДУ указанных типов отличаются незначительно, в пределах 1–2 кг. При больших суммарных импульсах (до 1 500 кгс·с (~15 кН·с) легче уже оказывается ЭРДУ, но преимущество относительно монотопливной ДУ невелико и составляет около 4 кг.
3. Наибольшую массу (без учета пневмосистемы) на верхней границе рассматриваемого диапазона суммарных импульсов имеет двухкомпонентная ДУ, несмотря на преимущество по удельному импульсу перед монотопливной ДУ. Это можно объяснить необходимостью иметь двойной комплект баков и систем наддува (для горючего и окислителя). При небольших заправках топливом доля массы этих конструкций становится существенной, вследствие чего двухкомпонентная ДУ проигрывает однокомпонентной.

Таблица 2

Масса заправленных ДУ коррекции различных типов для малых КА

Масса заправленной ДУ, кг	Суммарный импульс, кгс·с (кН·с)			
	112 (1,12)	560 (5,6)	1 000 (10)	1 500 (15)
Пневмосистема	10,6	29,1	37,6	73,4
Монотопливная ДУ	–	7,5	11,9	14,1
Двухкомпонентная ДУ	–	7,3	12,3	17,5
Электрореактивная ДУ на базе СПД	–	8,9	9,3	9,8

Отметим, что критерий массы, хотя и является весьма важным и, зачастую, определяющим при выборе того или иного типа ДУ, не является единственным. С точки зрения эксплуатации весьма важными факторами являются простота конструкции и обусловленная этим надежность системы. С учетом этих дополнительных критериев очевидно, что при малых суммарных импульсах, до 100 кгс·с (~1 кН·с) выгоднее применять имеющуюся приемлемую массу, предельно простую и надежную пневмосистему на холодном газе (азоте). В диапазоне 500–1 500 кгс·с (~ 5–15 кН·с) предпочтение можно отдать монотопливной ДУ. Она легче, проще и надежнее двухкомпонентной. Проигрыш по массе около 4 кг электрореактивной ДУ приемлем и является, по-существу, компенсацией за простоту и надежность. Электрореактивная ДУ в диапазоне импульсов 1 000–1 500 кгс·с (10–15 кН·с) имеет наименьшую массу, однако данное преимущество, ввиду относительно небольшой величины (порядка единиц килограммов), вряд ли может быть решающим и превалировать над фактором существенного усложнения ДУ в целом. Усложнение обусловлено наличием в составе ДУ достаточно сложного электронного прибора (СПУ), который подает необходимые напряжения на двигатель, его составные части и элементы системы подачи рабочего тела. Практика эксплуатации показывает, что наличие в системе сложного электронного прибора может снижать надежность системы.

Таким образом, преимущественной областью применения электрореактивных ДУ коррекции на КА прикладного назначения остаются геостационарные спутники, требующие коррекции наклона орбиты.

Для навигационных КА на высоких круговых орбитах и связанных КА на высокоэллиптических орбитах вследствие высоких требований по тяге, которые не могут быть реализованы ЭРД, и относительно небольших требований по суммарному импульсу выгоднее применять однокомпонентные или двухкомпонентные ДУ коррекции на жидком топливе.

Для КА ДЗЗ и малых КА связи на низких круговых орбитах для коррекции возможно применение как маломощных ЭРДУ, так и ДУ на химическом топливе. При этом разница в массе указанных типов ДУ в диапазоне суммарных импульсов 500–1 500 кгс·с (~5–15 кН·с) незначительна. Исходя из эксплуатационных требований простоты и надежности, выгоднее применять монотопливные ДУ. Разработка специаль-

ной ЭРДУ малой мощности для КА с требованиями по суммарному импульсу в диапазоне 1 000–2 000 кгс·с (10–20 кН·с) может быть оправдана только при очень жестких ограничениях по массе.

При низких требованиях по суммарному импульсу (100 кгс·с (~1 кН·с) и менее) с точки зрения надежности и приемлемой массы оправдано применение простейших пневмосистем на холодном азоте.

Библиографические ссылки

1. Стационарные плазменные двигатели / Н. В. Белан [и др.]. Харьков : ХАИ, 1989.
2. Фаворский О. Н., Фишгойт В. В., Янговский Е. И. Основы теории космических электрореактивных двигательных установок. М. : Высш. шк., 1978.
3. Горшков О. А., Муравлев В. А., Шагайда А. А. Холловские и ионные плазменные двигатели для космических аппаратов. М. : Машиностроение, 2008.
4. Kozlov A. G. Flight experience and prospects of EP and EPS utilization on board the spacecraft manufactured by NPO PM // International cooperation in the future space missions involving electric propulsion : International Workshop. Svetlogorsk. Russia. 2005. Sept. 15–16.
5. ГОСТ Р 25645.166-2004. Атмосфера Земли верхняя. Модель плотности для баллистического обеспечения полетов искусственных спутников Земли. М. : Изд-во стандартов, 2004. С. 9.
6. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. Ч. 2. М. : Наука, 1991 С. 164.
7. Модель космоса. Т. 1. Физические условия в космическом пространстве / под ред. проф. М. И. Панасюка, проф. Л. С. Новикова. М. : Изд-во «КДУ». 2007. С. 674.
8. Rosetti P., Valentian D. Analysis of Hall-Effect Thrusters application to formation flying and drag compensation // The 30th International Electric Propulsion Conf. (September 17–20, Florence). Italy, 2007 (IEPC-2007-307).
9. Булынин Ю. Л., Ермошкин Ю. М. Оценка минимально допустимой тяги двигателей орбиты геостационарных спутников // Управление движением и навигация летательных аппаратов : сб. тр. XIII Всерос. науч.-техн. семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов. Ч. 1 / Самар. гос. аэрокосмич. ун-т им. акад. С. П. Королева. Самара, 2007. С. 109.

Yu. M. Yermoshkin

ELECTRIC PROPULSION'S RATIONAL APPLICATION RANGE ON THE APPLIED SPACECRAFTS

It is necessary to specify the orbit control propulsion subsystem type of designed applied spacecraft(S/C). Nowadays electric propulsion systems (EPS) with wide power range are intensively investigated and developed. Therefore it is expediency to clarify the EPS preferable application ranges with a comparison with other propulsion types. This question is topical especially to small S/C. This article is dedicated to study of this task.

Keywords: spacecraft, thruster, propulsion system, total impulse, specific impulse, thrust.

© Ермошкин Ю. М., 2011

УДК 527.62

В. В. Какоткин, А. А. Абдулхаков, Г. К. Макаренко, М. М. Валиханов, В. Ф. Гарифуллин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ

Приведено описание системы навигационного обеспечения сейсморазведочных работ на водных акваториях и результаты экспериментальных исследований в реальных условиях на реках Красноярского края за трехлетний период. Также рассмотрены решения по модернизации данной системы.

Ключевые слова: ГЛОНАСС, система, спутник, навигация, сейсморазведка, река.

Актуальной для Красноярского края является разведка и освоение месторождений нефти, газа и др. При проведении геологоразведки представляется перспективным использование невзрывных методов, которые обладают рядом преимуществ по сравнению со взрывными методами создания сейсмоволн, в частности, это отсутствие необходимости бурения скважин, что иногда сложно выполнимо при наличии твердых горных пород; экологичность, поскольку ударная волна невзрывного источника сейсмоволн не наносит природе ущерб; отсутствие взрывчатых веществ в технологической цепочке.

Невзрывной источник сейсмоволн может быть реализован на основе силового электромагнитного (ЭМ) привода [1]. Проведение геофизических исследований невзрывными методами осуществляется следующим образом. В выбранной позиции, имеющей координатную привязку, устанавливается один или несколько ЭМ для увеличения глубины зондирования. Сейсмические волны, распространяясь в земной коре, отражаются от границ раздела слоев (песок, глина, пустоты и др.). Регистрация отраженных сейсмических волн осуществляется с помощью специальных сейсмодатчиков – пикетов, которые устанавливаются через определенное расстояние. Координатная привязка пикетов в настоящее время осуществляется геодезическими средствами. Для увеличения уровня отраженности сигналов и уменьшения влияния случайной составляющей погрешности измерений осуществляется многократное воздействие. Далее ЭМ перемещается на другую точку с известными координатами, и процесс повторяется. Предприятием ОАО «Енисейгеофизика» разработаны варианты размещения невзрывных источников на колесное транспортное средство или на сани.

Кроме того, для геодезических исследований в условиях водных акваторий разрабатываются водные электромагниты (ВЭМ) с их установкой на понтон, буксируемый катером сплавным. Особенностью такой техники является то, что при работе на реках отсутствует возможность обеспечения неподвижности ВЭМ вследствие влияния течения реки. В результате теряется возможность многократного зондирования в одной точке, а также требуется оперативное определение координат точки воздействия. Для решения этой задачи геодезические методы координатной привязки оказываются неэффективными, что обуславливает необходимость использования аппаратуры спутнико-

вых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Это позволяет охватить весь спектр задач координатно-временного обеспечения сейсморазведочных работ [2].

На данный момент основу системы навигационного обеспечения сейсморазведочных работ составляет навигационная аппаратура потребителей (НАП) спутниковых радионавигационных систем (СРНС) МРК-32. Данные приборы разработаны совместно ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и ФГУП НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск), выпускаются серийно предприятием ФГУП НПП «Радиосвязь» и представляют собой 16-канальные приемники СРНС ГЛОНАСС/GPS (рис. 1). Описание системы и структурная схема проведения работ рассматриваются в [3].

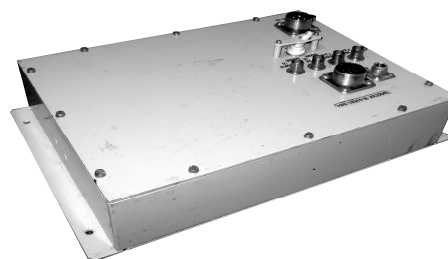


Рис. 1. Внешний вид приемника СРНС ГЛОНАСС/GPS МРК-32

Для навигационного обеспечения используются два приемника НАП СРНС МРК-32. Первый приемник установлен на бортовой станции (БС) – на борту судна с ВЭМ с целью определения координат и скорости движения судна. Отличительной особенностью является возможность сопряжения МРК-32 с контроллером ВЭМ для управления сейсмическими воздействиями в заданных точках и с выбранным оператором интервалом, что позволяет синхронизировать момент измерения координат и излучение сигнала ВЭМ. Расчеты показали, что для получения требуемого уровня энергии отраженных сигналов необходимо на межпикетном расстоянии в 50 м осуществлять по 10 воздействий, в связи с чем интервал воздействий был принят равным 10 с при поддержании скорости движения судна примерно 1,8 км/с. Приемник МРК работает по сигналам систем ГЛОНАСС и GPS, что позволяет повысить надежность получения навигационных данных в условиях затенения спутников деревьями и горами. Для осуществления контроля и

управления НАП используется персональный компьютер типа Notebook с соответствующим программным обеспечением для контроля и сбора данных в реальном времени, а также для их постобработки. Структурная схема НАП БС представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структурная схема НАП БС

Следует отметить устойчивость аппаратуры к сложным условиям эксплуатации, таким как постоянная вибрация (вследствие периодических ударов электромагнита), качка, повышенная влажность, повышенная или пониженная температура окружающей среды. Также в связи с тем, что в светлое время суток сложные погодные условия (ветер, осадки) создают помехи, уровень которых не позволяет должным образом регистрировать сигнал сейсмодатчикам, работы обычно проводятся в темное время суток. Для повышения безопасности во время судовождения в работу включен картплоттер Garmin 3005C, имеющий возможность отображения текущего положения судна на электронной карте реки. Подключение к нему эхолота позволило оперативно регистрировать глубину под понтоном с ВЭМ и вовремя избегать прохождения таких участков рек, как мель. Дополнительно в картплоттер загружались координаты пикетов, установленных на берегу. Данная информация позволила капитану судна в сложных условиях ночного времени суток или в тумане ориентироваться относительно береговой линии.

Для увеличения точности определения координат БС в систему была введена контрольно-корректирующая станция (ККС). Аппаратурой, входящей в ее состав, является второй приемник МРК-32, выходом «СОМ-1» соединенный с персональным компьютером типа Notebook, используемым для управления режи-

мами работы аппаратуры и накопления измерительной информации. Координаты антенны МРК-32 были привязаны геодезическими средствами и использовались для формирования дифференциальных поправок с целью реализации дифференциального режима определения места судна. Получение координат точек воздействий осуществлялось в постобработке по накопленным результатам измерений с ККС и БС.

Испытания навигационной системы проводились в 2008 г. на реке Ангаре. В 2009 и 2010 гг. были выполнены работы на реках Бирюса, Чуна, Тасеево, приблизительный километраж работ составил 294 и 147 км соответственно [4]. На протяжении суток система отработывала от 3 до 10 км профиля. На скорость прохождения влияют такие факторы, как сложные погодные условия, течение реки, а также разнообразие состава грунта, где приходится на определенный участок делать большее количество сейсмических воздействий, что приводит к уменьшению скорости БС.

Принимая во внимание испытания, проведенные в 2008–2009 гг. на реках Бирюса, Чуна, Тасеево, был сформулирован ряд предложений и замечаний, который был учтен в испытаниях 2010 г. Так, сотрудниками ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» были выполнены мероприятия по созданию нового программного обеспечения (ПО) системы. В ПО входит комплексная обработка навигационных данных, включая дифференциальный режим. Программа рассчитывает координаты БС отдельно по созвездию ГЛОНАСС или GPS и их совместного решения.

С целью повышения надежности получаемых координат БС, в разработанном ПО реализованы фильтры четырех типов: фильтрация по амплитуде принимаемого сигнала (удаление измерений спутников, амплитуды которых меньше установленного значения); фильтрация по времени (удаление измерений тех спутников, слежение за сигналом которых по времени меньше установленного значения); фильтрация по углу места (удаление измерений спутников, угол места которых меньше установленного значения); фильтрация по первым *N* измерениям (в расчет не принимаются данные с тех спутников, которые были зарегистрированы меньше определенного времени).

Статистический анализ данных со спутников ГЛОНАСС и GPS в стационарном (неподвижном) состоянии антенны приемника МРК-32 представлен в табл. 1 и 2. Время записи длилось около 12 ч.

Таблица 1

Данные, не прошедшие обработку фильтрами

СКО	Максимальное отклонение, м	Среднее отклонение, м	Удалено отсчетов спутников GPS	Удалено отсчетов спутников ГЛОНАСС
2,908076	57,85667	3,473371	0	0

Таблица 2

Результаты комплексной обработки всеми фильтрами

СКО	Максимальное отклонение, м	Среднее отклонение, м	Удалено отсчетов спутников GPS	Удалено отсчетов спутников ГЛОНАСС
2,205797	45,29627	3,723146	11 2399	75 519

Параметр фильтра по амплитуде был выбран 40 у. е., по времени равен 500 измерений, по углу места – 20°. Как видно из таблиц, значение среднеквадратического отклонения после фильтрации уменьшилось, что является положительным результатом.

Анализ результатов работы показывает, что навигационное геодезическое обеспечение сейсморазведочных работ на реке выполнено в полном объеме, в соответствии с заданием предприятий ОАО «Енисей-геофизика» и ООО «Богучанская геофизическая экспедиция».

Стоит отметить, что важным аспектом системы навигационного обеспечения сейсморазведочных работ является ее целостность, отлаженная работа всех узлов и компонентов, начиная от организации электропитания и заканчивая управляющим программным обеспечением. Немаловажным является и учет сложных полевых условий во время работы аппаратной части, а также возможность интеграции системы с современными носителями информации и средствами связи. Проведенные работы показали, что в моменты подхода БС к гористому берегу наблюдается затенение неба и, в результате, уменьшение числа принимаемых спутников до 6 и менее, что приводит к скачкообразному изменению координат места. Для решения этой проблемы существует возможность использования инерциальных навигационных систем для

исключения влияния указанного эффекта. Также немаловажным является реализация передачи дифференциальных поправок в реальном режиме времени по каналам связи (радиоканалу), что позволит увеличить точность определения координат и сократить время на обработку данных.

Библиографические ссылки

1. Детков В. А., Шайдунов Г. Я. Частотно-импульсный режим возбуждения сейсмических волн группой импульсных невзрывных источников // Приборы и системы разведочной геофизики. 2007. № 4 (22). С. 11–13.
2. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М. : ВГУП «Картгеоцентр», 2005.
3. Какоткин В. В., Валиханов М. М., Кокорин В. И. Система навигационного обеспечения сейсморазведочных работ // Современные проблемы радиоэлектроники : сб. науч. ст. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. С. 171–173.
4. Определение точностных характеристик навигационной аппаратуры МРК-32 при различных режимах работы / В. В. Какоткин [и др.] // Современные проблемы развития науки, техники и образования : сб. науч. тр. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. С. 223–225.

V. V. Kakotkin, A. A. Abdulhakov, G. K. Makarenko, M. M. Valihanov, V. F. Garifullin

USAGE OF NAVIGATION SATELLITE SYSTEM AT REALIZATION OF SEISMOPROSPECTING WORKS ON WATER AREAS

The work presents definition of navigational support system in exploration seismology and the results of experimental research in real-life environment on Krasnoyarsk region rivers for the three-year period. Also decisions on modernization of the given system are considered.

Keywords: GLONASS, satellite, system, navigation, seismic exploration work, river.

© Какоткин В. В., Абдулхаков А. А., Макаренко Г. К., Валиханов М. М., Гарифуллин В. Ф., 2011

УДК 629.7.017.1

А. В. Кацура, В. А. Лавренов, А. А. Рябин

КРИТЕРИИ КОРРОЗИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ ПЛАНЕРА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Из анализа многочисленных задач, обусловленных необходимостью предотвращения опасности коррозии при эксплуатации авиационной техники, ключевой является установление предельных параметров коррозионного поражения конструкции.

Ключевые слова: коррозионное поражение, прочность, коррозионно-усталостная долговечность.

В России и за рубежом критерием допустимого коррозионного поражения плоских элементов типа обшивок принято считать 10-процентное уменьшение их толщины: при достижении глубины коррозионного дефекта этой величины конструкционный элемент должен быть заменен, при меньших значениях этого параметра возможна зачистка и восстановление защитного покрытия.

По определению, данный критерий нормирует допустимое коррозионное повреждение после его ремонта (зачистки коррозии) и предопределяет запас по статической прочности на начало эксплуатации, а также некоторый резерв по усталостной долговечности (сопротивлению усталости), так как момент возможности его применения (время появления дефекта или наработка до возникновения усталостной трещи-

ны, инициированной дефектом) не оговорен. Не учитывается конфигурация дефекта, возможность возобновления коррозионного процесса и влияния на усталость металла коррозионной среды и, главное, не принимаются во внимание стадии жизненного цикла: время до очередного технического обслуживания, капитального ремонта или планового (проектного) завершения эксплуатации данного летательного аппарата (ЛА). Очевидны значительные прямые экономические потери при применении критерия. Кроме того, применение принципа «обнаружена коррозия – ее нужно остановить» выводит ЛА из эксплуатации вне плана регулярного технического обслуживания и ремонта (ТОиР), что также ведет к значительным потерям, особенно для интенсивно эксплуатируемых пассажирских ЛА – из-за нарушений расписания перевозок [1].

За рубежом (в США, Канаде, Австралии, Великобритании) ведутся исследования влияния коррозии на статическую прочность и усталостную долговечность как для военных, так и гражданских ЛА с целью изучения возможности ремонта коррозии только в рамках плановых ТОиР.

При оценке влияния коррозии на усталостную долговечность используются, в основном, два различных подхода: при первом – коррозионный дефект рассматривается с позиций механики разрушения как эквивалентное ему механическое повреждение, при втором – используется величина определяющей зоны материала.

Очевидным недостатком первой расчетной схемы является отсутствие прямой связи с характеристиками сопротивления усталости материала по зарождению трещины: по постановке задачи именно коррозионный дефект провоцирует место и преждевременное зарождение разрушающей конструкции усталостной трещины. Более продуктивным представляется второй подход.

Основными параметрами коррозионных дефектов, определяющими коррозионную прочность являются глубина, ширина и распределение питтингов, шероховатость поверхности, среднее уменьшение толщины и степень общего поражения [2].

Критериями коррозионного поражения авиационных конструкций являются ресурсные характеристики – остаточная усталостная или коррозионно-усталостная долговечность, предопределяемая местоположением, видом и размерами поражения. В основном, оценка долговечности натуральных конструкций или конструктивных элементов с коррозионными дефектами производится при стендовых или лабораторных испытаниях. При видимой значительности проведенной работы эффект от нее невелик, так как частными случаями нельзя закрыть все многообразие вероятных ситуаций. Общий подход может состоять в определении остаточной долговечности конкретного фрагмента конструкции с дефектом по справочным данным материала с учетом определяющих долговечность параметров. Необходимо также четко обозначить, что именно при анализе коррозионного поражения подлежит контролю и измерению.

Принимая во внимание известные явления усталости металлов, можно предсказать, что на заключительной стадии жизненного цикла ЛА в сравнении с началом его эксплуатации могут быть допустимы более существенные по эффекту снижения усталостной долговечности дефекты конструкции (требование остаточной прочности должно выполняться по определяемой в Нормах летной годности наработки конструкции). Иначе говоря, решение задачи должно начинаться очевидному для усталостной прочности положению: «больше дефект – меньше усталостная долговечность». В этом смысле для подобных по конфигурации дефектов любой параметр, например, геометрический размер (глубина дефекта) или масса удаленного коррозией металла, должен коррелировать с усталостной долговечностью [3]. Циклические долговечности плоских образцов из сплава Д16АТ в зависимости от глубины и диаметра искусственных коррозионных язв (рис. 1) показали, что сопротивление усталости имеет обратную зависимость от величин и глубины и диаметра язвы (рис. 1, а). Следовательно, критериальный параметр язвы должен включать в себя эти измерения. Достаточно удовлетворительный результат дает уже первое приближение: перестроенные исходных данных в зависимости от произведения диаметра язвы на глубину или, как сделано в данном случае, от двух третей произведения – площади сечения язвы параболической формы, что сводит первичные кривые в одну (рис. 1, б). Выпадающие из общей зависимости долговечности, обозначенные перечеркнутыми символами, относятся к сквозным язвам – качественно другому случаю нарушения сплошности материала.

Полученная зависимость циклической долговечности от площади сечения экспериментально проверена при различных формах язв (рис. 2).

Зависимость циклической долговечности образцов от площади и формы язвы представлена на рис. 3: на рис. 3, а показаны результаты усталостных испытаний плоских образцов сплава Д16АТ с тремя различными типами язв – пологими, умеренно пологими и узкими глубокими параболической формы в сечении (уравнения парабол сечений приведены на рисунке), все данные испытаний могут быть аппроксимированы одной прямой в двойных логарифмических координатах; на рис. 3, б представлены данные испытаний другой партии сплава на двух уровнях максимального напряжения цикла. Зависимость в эксперименте в качественном отношении выдерживается и для удлиненных некруговых язв, однако применение другого параметра, типа «объем» или «масса удаленного коррозией металла», неправомерно: при удлинении язвы на виде в плане по направлению нагружения объем и масса удаленного металла растут, а концентрация напряжений, определяемая в первом приближении отношением полуосей контура дефекта в плане ($k_\sigma = 1 + 2a/b$, где a – размер дефекта (эллипса) в направлении, перпендикулярном действию силы; b – размер дефекта в параллельном действию силы направлении), снижается, что, несомненно, приводит к меньшему падению характеристик долговечности, т. е. увеличению усталостной долговечности.

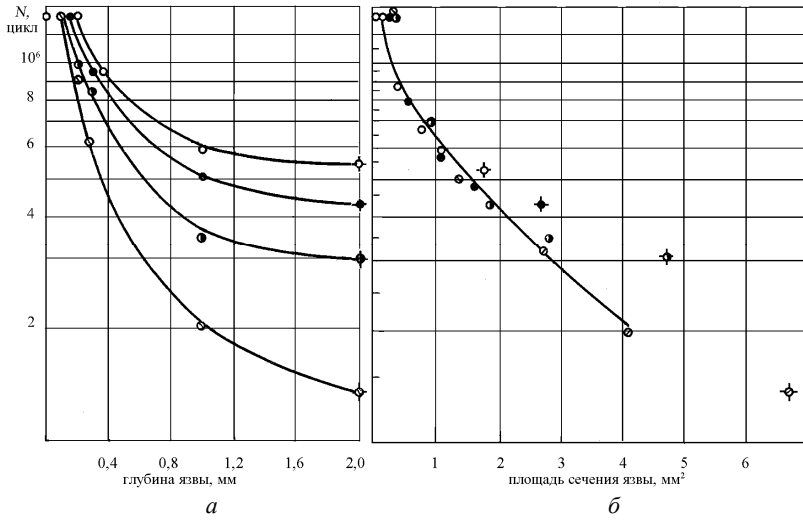


Рис. 1. Циклическая долговечность образцов из листа Д16АТ толщиной 2 мм с коррозионными язвами при чистом симметричном изгибе ($\sigma_b = \pm 11,5 \text{ кгс/мм}^2$):
 а – по отношению к глубине язвы; б – по отношению к площади сечения язвы; диаметры язвы: \circ – 1,3 мм; \bullet – 2,0 мм; \bullet – 3,5 мм; \circ – 5 мм

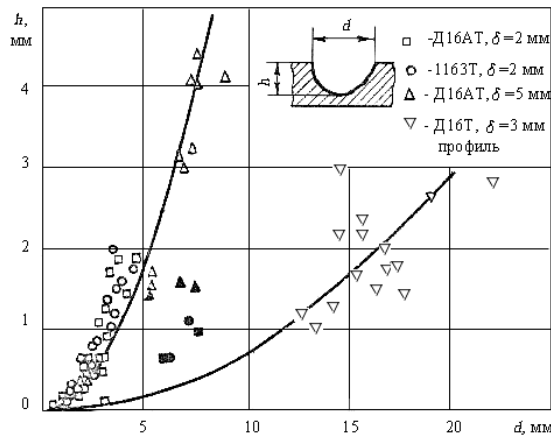


Рис. 2. Глубины и диаметры коррозионных язв

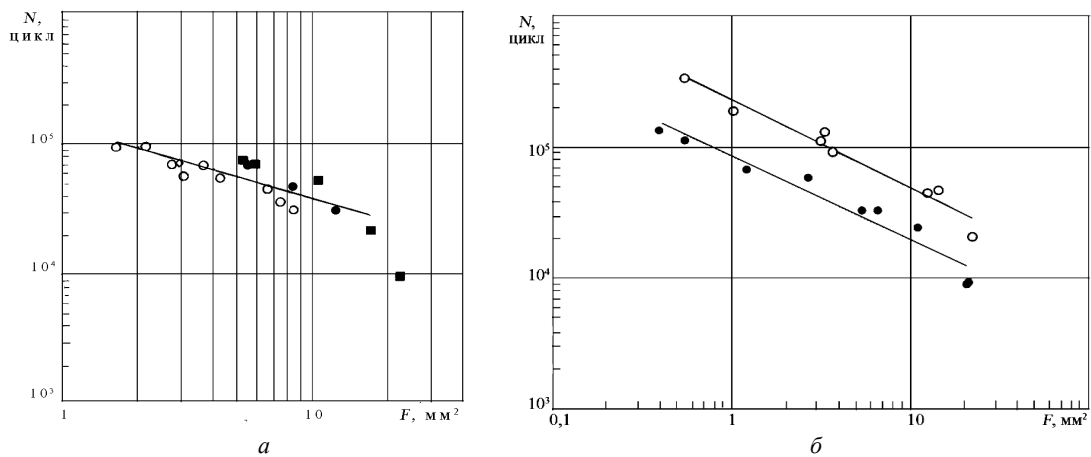


Рис. 3. Циклическая долговечность образцов по отношению к площади язвы и ее форме в поперечном сечении (сплав Д16АТ, направление вырезки образца – вдоль направления проката; коэффициент асимметрии цикла $R = 0$; среда – лабораторный воздух):

а – в зависимости от типа язвы; б – в зависимости от напряжения цикла; \blacksquare – первый тип язвы (пологая), $h = 0,015d^2$;
 \bullet – второй тип язвы (средняя), $h = 0,073d^2$, $\sigma_{\max} = 130 \text{ МПа}$; \circ – третий тип язвы (глубокая), $h = 0,15d^2$, $\sigma_{\max} = 160 \text{ МПа}$

Применение параметра дефекта позволяет достаточно просто по результатам ограниченного эксперимента получить стандартные кривые усталости материала с коррозионными язвами произвольных размеров. Усталостные долговечности элемента конструкции с коррозией при нагружении по эксплуатационному спектру могут быть определены по результатам испытаний, например, по программе типового полета или расчета по кривым усталости. В испытаниях более корректно и рационально фиксировать долговечности по моменту зарождения трещины, так как коррозионный дефект имеет определяющее значение на первой стадии усталости, а для оценки дальнейшего развития разрушения в конструкции могут приме-

няться методы механики трещин. В этом случае экспериментальные исследования могут быть выполнены на элементарных фрагментах конструкции.

Библиографические ссылки

1. Паутов В. Н. Коррозия металлов и защита от коррозии / НГТУ. Новосибирск, 2005.
2. Оперативный критерий оценки коррозионного состояния воздушных судов / М. В. Антонова [и др.] // Вестн. МГТУ ГА. 2008. № 130. С. 59–67.
3. Попов Ю. А. Теория взаимодействия металлов и сплавов с коррозионно-активной средой. М. : Наука, 1995.

A. V. Katsura, V. A. Lavrenov, A. A. Pyabin

CRITERIA OF AIRFRAME CORROSIVE DAMAGE

From the analysis of tasks caused by necessity to mitigate and prevent effects of corrosion during scheduled service, the most important one is to define the boundary parameters of corrosion damage.

Keywords: corrosion damage, corrosion resistance, corrosion fatigue life.

© Кацура А. В., Лавренев В. А., Рябин А. А., 2011

УДК 629.7.001

М. И. Кислицкий

КОНЦЕПЦИЯ ДВОЙНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Двойное использование (ДИ) космических аппаратов (КА) является эффективным способом получения дополнительного выходного эффекта от средств, ранее вложенных в создание КА, при минимальных затратах. Приведены принципы ДИ, концептуальная схема и формализация концепции ДИ КА.

Ключевые слова: космический аппарат, двойное использование, концепция.

Решение целевых задач в космосе требует больших затрат, так как для выведения космических аппаратов на орбиты и обеспечения функционирования целевой аппаратуры в условиях космического полета необходимы создание и эксплуатация сложных дорогостоящих технических средств. В связи с этим возникает настоятельная потребность в выявлении путей повышения целевого эффекта $W_{\text{осн}}^{\text{э}}$, получаемого от вложения финансовых средств в создание и эксплуатацию космических средств (КС).

Одним из таких путей является двойное использование КА. Под двойным использованием будем понимать применение КА для решения в космосе иных целевых задач в дополнение к штатным, для выполнения которых изначально создавался КА. Иначе говоря, двойное использование КА может быть определено как способ получения дополнительного выходного эффекта $W_{\text{доп}}^{\text{э}}$ в ходе целенаправленного процесса функционирования КА, реализуемый путем обеспечения решения дополнительных целевых задач за счет более эффективного использования технических

возможностей КА $A_{\text{ТХ}}$ наряду с выполнением космическим аппаратом возложенных на него штатных целевых задач.

Таким образом, при ДИ КА выходной эффект $W_{\Sigma}^{\text{э}}$ будет представлять собой величину

$$W_{\Sigma}^{\text{э}} = W_{\text{осн}}^{\text{э}} + W_{\text{доп}}^{\text{э}}. \quad (1)$$

В космической технике широко используются КА двойного назначения. Под КА двойного назначения понимаются КА, изначально спроектированные для решения их целевой аппаратурой целевых задач в интересах военного и гражданского ведомств. КА двойного использования, в отличие от КА двойного назначения, изначально спроектированы для решения только штатной целевой задачи (ЦЗ). Решение об их двойном использовании принимается, как правило, после проведения летных испытаний КА и сдачи данного типа КА в эксплуатацию.

Здесь рассматривается концепция двойного использования КА серии «Космос». Возможны следующие

щие основные способы реализации двойного использования КА:

- получение дополнительного целевого эффекта с использованием штатного бортового целевого комплекса КА и всей совокупности штатных технических средств космической системы;

- размещение на КА дополнительной целевой аппаратуры (ДЦА) иного, по сравнению с штатным, назначения и обеспечение ее функционирования в качестве дополнительной полезной нагрузки (ДПН) КА за счет использования технических резервов последнего.

Двойное использование КА, реализуемое *первым способом*, сталкивается с рядом серьезных проблем:

1. Поскольку для решения дополнительной ЦЗ применяется штатная целевая аппаратура (ЦА), такое ДИ может быть обеспечено лишь в тех случаях, когда требования, предъявляемые к выходному продукту КС разными заказчиками (МО РФ, ФКА и др.), тождественны или весьма близки. Это возможно только для ограниченного круга задач (связь, навигация, гидрометеобеспечение и т. п.). По другим целевым задачам требования различных заказчиков либо существенно различаются, либо вообще не имеют ничего общего. В связи с этим решение подобных задач одной и той же штатной целевой аппаратурой КА невозможно.

2. Получение информации от бортовых целевых комплексов КА серии «Космос» иными потребителями способно раскрыть их охраняемые технические характеристики.

3. Использование штатных закрытых радиолиний сброса целевой информации для передачи ее иным, кроме штатных, потребителям не санкционировано.

4. Технический ресурс бортовой ЦА ограничен, в связи с чем ее использование в интересах других потребителей сталкивается с сопротивлением основного заказчика космического аппарата.

Наличие этих проблем существенно ограничивает сферу возможного применения первого способа двойного использования КА.

Второй способ предусматривает размещение на борту КА дополнительной целевой аппаратуры иного назначения в качестве ДПН за счет использования имеющихся резервных технических возможностей КС. Практика космической деятельности показывает, что действующие КС, как правило, имеют неиспользуемые технические резервы. Эти резервы могут быть использованы для решения дополнительных целевых задач в космосе. При втором способе ДИ снимаются отмеченные выше проблемы, так как здесь использование штатных специальных средств для решения целевых задач ДЦА не является необходимым.

В условиях ограниченного финансирования космической деятельности ДИ КА приобретает особенно важное значение, так как позволяет дать дополнительный целевой эффект при сравнительно небольших дополнительных затратах ресурсов на реализацию ДИ. Это объясняется следующим. Дополнительная целевая аппаратура, создаваемая по государст-

венным программам, имеет госбюджетный статус. В России при реализации ДИ космических средств, создаваемых по госбюджетным программам, в интересах также госбюджетных программ не взимается плата за выведение ДЦА на орбиту и за использование ресурсов бортовых систем КА, обеспечивающих функционирование ДЦА. Вышеуказанные статьи расходов составляют весьма значительную долю затрат на реализацию космических проектов, что и объясняет относительно низкий уровень затрат на реализацию ДИ.

Рассматривается задача ДИ КА, находящихся в штатной эксплуатации, т. е. серийно изготавливаемых и эксплуатируемых в плановом порядке. Сложность задачи ДИ таких КА обусловлена следующими причинами:

- при создании этих КА возможность ДИ не предусматривалась, т. е. КА изначально технически не приспособлены для двойного использования;

- какие-либо серьезные доработки данных КА недопустимы, так как это нарушило бы график их изготовления и целевого использования.

Введение ДЦА в состав КА оказывает сложное системное влияние на его характеристики и функционирование через изменение массы и момента инерции аппарата, положения центра масс и центров давления аэродинамической силы и силы светового давления, магнитного момента КА, параметров электрического и магнитного полей, через возможное затенение солнечных батарей, антенно-фидерных устройств, радиаторов, датчиков ориентации, изменение механических нагрузок, плеч двигателей ориентации, кинетического момента КА; возможно также возникновение проблем по обеспечению электромагнитной совместимости бортовых технических средств и т. д. Все эти влияния должны быть учтены при разработке проектов ДИ КА и количественно определена степень изменения технических характеристик КА.

В целом внедрение ДЦА на КА в рамках выявленных технических резервов КА и ракеты-носителя с выполнением требований, предъявляемых со стороны ДЦА, и без снижения качества решения основной целевой задачи, с учетом вышеуказанных неизбежных влияний на технические характеристики аппарата представляет собой сложную научно-техническую задачу.

К настоящему времени имеется лишь ограниченное количество примеров практической реализации ДИ КА серии «Космос»: проект «Зенит-Наука» (1970–1980-е гг., ЦСКБ) и проект «Конус-А» (1990–2000-е гг., КБ «Арсенал»). Одной из важных причин противоречия между высокой эффективностью проектов ДИ КА серии «Космос» и малым количеством реализованных проектов такого рода является сложность научно-технической проблемы обоснования ДИ КС, ее комплексный, междисциплинарный характер и недостаточная проработанность данной проблемы в научном плане. Очевидна необходимость создания научно-методического аппарата, который обеспечил бы научное обоснование ДИ КА и послужил аппаратом поддержки принятия решений в про-

цессе обоснования и реализации проектов ДИ КА. Основой такого аппарата должна быть концепция ДИ КА.

Исходя из сущности и статуса решаемых КА серии «Космос» задач, их важности для государства, были сформированы следующие основные принципы ДИ КА [1].

Принцип приоритетности: двойное использование КА не должно приводить к снижению качества решения этими КА целевых задач, ради которых создавались КС. Иначе говоря, основные задачи КА имеют абсолютный приоритет перед дополнительными задачами.

Принцип конфиденциальности: двойное использование КА не должно приводить к утечке информации ограниченного доступа.

Принцип экономичности: объем доработок штатных КА при реализации их ДИ должен быть минимизирован.

Из принципа приоритетности следует, что ДИ КА предусматривает использование только их свободных технических возможностей. Под свободными техническими возможностями понимается та часть технически возможного объема предоставляемых космическими средствами видов обеспечения, которая не используется при выполнении штатной целевой задачи КА.

Принцип конфиденциальности предполагает, что для ДЦА недопустимо использование штатных

средств хранения и передачи целевой информации. В связи с этим ДЦА должна иметь в своем составе собственные, не связанные со штатными, средства хранения и передачи информации на наземные пункты приема. Кроме того, должно быть обеспечено отсутствие утечек информации из штатной целевой аппаратуры в ДЦА.

Принцип экономичности, учитывая планомерный характер штатной эксплуатации КА, требует минимизации объема доработок космического аппарата и других составных частей космического комплекса до такого уровня, при котором проведение доработок не приводит к существенной корректировке графика запусков КА.

Реализация ДИ КА в соответствии с этими принципами гарантирует отсутствие какого-либо ущерба для решения тех задач, ради которых создавался КА, а также космический комплекс (КК) и космическая система, составной частью которой он является.

Концептуальная схема двойного использования КА приведена на рисунке.

Рассмотрим формализованное представление концепции ДИ в соответствии с рисунком.

Любой КА можно представить как совокупность двух частей:

- бортовой целевой комплекс (БЦК);
- служебная часть – бортовые обеспечивающие системы (БОС) КА.



Концептуальная схема двойного использования КА

Бортовой целевой комплекс решает задачи в соответствии с предназначением КА. Бортовые обеспечивающие системы КА предназначены для обеспечения необходимых условий функционирования БЦК и представляют собой совокупность бортовых служебных систем (электропитания, обеспечения теплового режима, управления движением, телеметрического контроля, аппаратура радиуправления) и несущей конструкции. Как правило, современные БОС изначально создаются как унифицированный модуль, способный обеспечивать функционирование различных видов БЦК без существенных изменений его облика (космическая платформа).

Условия, необходимые для функционирования БЦК, описываются требованиями, предъявляемыми БЦК к БОС по параметрам обеспечения $A_{ТХ}$:

- параметры ориентации и стабилизации $a_{СОС}$;
- параметры электропитания $a_{СЭС}$;
- параметры обеспечения теплового режима $a_{СОТР}$;
- параметры комплекса приема и передачи информации $a_{КПИ}$;
- масса обслуживаемого БЦК a_m ;
- габариты обслуживаемого БЦК $a_{l \times d}$;
- параметры орбиты $a_{орб}$;
- параметры пространственной зоны, свободной от затенения элементами конструкции КА $a_{зат}$;
- параметры управления функционированием БЦК $a_{упр}$;
- параметры обеспечения информацией о текущем положении КА в пространстве и текущем времени $a_{коорд}$;
- параметры телеметрического контроля функционирования БЦК $a_{тел}$.

Данная совокупность параметров определяет типовые условия размещения и функционирования бортового целевого комплекса КА и текущее состояние условий функционирования БЦК.

Эти параметры имеют количественные характеристики. Тогда множество $A_{ТХ}$ представляет собой совокупность значений параметров обеспечения БЦК бортовыми обеспечивающими системами КА:

$$A_{ТХ} \equiv \{a_{СОС}, a_{СЭС}, a_{СОТР}, a_{КПИ}, a_m, a_{l \times d}, a_{орб}, a_{зат}, a_{упр}, a_{коорд}\}. \quad (2)$$

Выходной эффект $W_{осн}^{\Delta}$ определяется количеством и качеством поставляемой КА целевой информации. Инструментом получения в космосе целевого эффекта является БЦК КА. Необходимым условием выполнения БЦК своих задач является обеспечение условий его нормального функционирования бортовыми обеспечивающими системами КА:

$$W_{осн}^{\Delta} = W_{осн}^{\Delta}(A_{ТХ}). \quad (3)$$

Потребность потребителей результатов космической деятельности в получении целевого эффекта от

функционирования КА с течением времени постоянно растет, т. е. справедливо неравенство

$$W_{осн}^{\Delta} < W_{осн}^{\Delta_{треб}}, \quad (4)$$

где $W_{осн}^{\Delta_{треб}}$ – значение параметра $W_{осн}^{\Delta}$, характеризующее требуемый уровень количества и качества получаемого космического целевого эффекта.

Очевидно, что существует постоянная потребность в максимальном приближении $W_{осн}^{\Delta}$ к $W_{осн}^{\Delta_{треб}}$.

Стоимость получения космического целевого эффекта определяется затратами на разработку, изготовление, выведение КА на орбиту и эксплуатацию всех составных частей космической системы. При этом весьма значительная доля затрат приходится на разработку КА – главного звена при решении поставленных перед космической системой целевых задач.

Достижимый уровень технических характеристик КА $A_{ТХ}$ существенно зависит от располагаемого объема финансовых средств, выделяемых на его создание и эксплуатацию $C_{фин}$.

Совокупность выходных параметров бортового целевого комплекса $A_{ТХ}^{БЦК}$ характеризует технический уровень КА, т. е. способность его решать поставленную целевую задачу в соответствии с требуемым качеством $W_{осн}^{\Delta_{треб}}$. Тогда справедливо

$$W_{осн}^{\Delta_{треб}} \equiv A_{ТХ}^{БЦК} \cup C_{фин}. \quad (5)$$

Достижимый при проектировании КА его технический уровень определяется двумя факторами:

- существующим в период разработки КА уровнем развития науки и техники;
- располагаемым объемом финансирования, выделяемого на создание и эксплуатацию КА.

Первый фактор определяет теоретический, максимально достижимый в данный период времени технический уровень КА. Второй фактор всегда ограничивает технический уровень произведенного КА, в той или иной мере снижая его по сравнению с уровнем, определяемым первым фактором, так как располагаемый объем финансирования всегда ограничен. В связи с этим именно второй фактор в решающей степени влияет на технический уровень КА. Соответственно, при реальном текущем уровне науки и техники технический уровень КА существенно зависит от располагаемого объема финансирования $C_{фин}$ на его создание и эксплуатацию

$$W_{осн}^{\Delta_{треб}} = W_{осн}^{\Delta_{треб}}(C_{фин}). \quad (6)$$

Величина $C_{фин}$ ограничена и определяется экономическими возможностями государства, в связи с чем выходной эффект функционирования КА зависит от располагаемого объема средств.

Таким образом, допустимый уровень финансирования (затрат) $C_{фин}$ является критическим ограничивающим фактором при получении целевого

эффекта $W_{\text{осн}}^{\text{э}}$. Из вышеизложенного вытекает необходимость поиска таких технических и организационных путей увеличения выходного эффекта от штатного функционирования КА, которые обеспечили бы увеличение выходного эффекта при допустимом уровне финансирования $C_{\text{фин}}$.

Одним из путей решения поставленного вопроса является использование резервных возможностей КА.

Рассмотрим множество параметров обеспечения БЦК, интерпретируя его как n -мерное пространство параметров $\{a_i\}$, $i = \overline{1, n}$, где n – число типов параметров обеспечения a_i . С целью систематизации дальнейших рассуждений введем ряд понятий.

Пусть $A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}}$ – множество располагаемых значений ресурсов параметров обеспечения КА:

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}} \equiv \{a_i^{\text{расп}}\}, i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где $a_i^{\text{расп}}$ – максимальное значение i -го параметра обеспечения (ресурса), предоставляемого БОС космического аппарата БЦК.

Положим $A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}}$ – множество используемых значений параметров обеспечения БЦК

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}} \equiv \{a_i^{\text{исп}}\}, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где $a_i^{\text{исп}}$ – максимальное значение i -го параметра обеспечения, реально (на практике) используемое БЦК при выполнении штатной целевой задачи.

Очевидно, что

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}} \subset A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}} \subset A_{\text{ТХ}}. \quad (9)$$

Если $a_i^{\text{исп}} < a_i^{\text{расп}}$, то на КА имеется неиспользуемый технический резерв по i -му параметру с величиной, равной $a_i^{\text{расп}} - a_i^{\text{исп}}$.

Введем множество резервных ресурсов параметров обеспечения КА:

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \equiv \{a_i^{\text{рез}} = a_i^{\text{расп}} - a_i^{\text{исп}}\}, i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Очевидно, что

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} = A_{\text{ТХ}}^{\text{расп}} \setminus A_{\text{ТХ}}^{\text{исп}}. \quad (11)$$

Множество $A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}}$ есть область неиспользуемых резервов технических параметров обеспечения характеристик в пространстве параметров $A_{\text{ТХ}}$.

При наличии у КА неиспользуемых технических резервов

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \neq \emptyset. \quad (12)$$

Вместе с тем не все параметры обеспечения из множества $A_{\text{ТХ}}$ носят характер ресурсов. Ряд параметров не подлежит изменению при реализации двойного использования, так как это привело бы к невыполнению принципов двойного использования КА. Приведенные рассуждения относятся к параметрам

обеспечения, которые носят характер ресурсов (масса, электропотребление, объем и др.).

Очевидно, что $A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}}$ представляет собой множество значений параметров обеспечения, которое КА способен предоставить для размещения и обеспечения функционирования ДЦА. При этом

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \subset A_{\text{ТХ}}. \quad (13)$$

Наличие потребности в увеличении выходного эффекта приводит к тому, что существуют или могут быть профинансированы и созданы определенные виды целевой аппаратуры для решения других целевых задач, отличных от штатных целевых задач, решаемых действующими КА, и можно рассматривать их использование в качестве ДЦА на КА. Эта ДЦА предъявляет к КА совокупность дополнительных требований по обеспечению:

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{ДЦА}} \equiv \{a_i^{\text{ДЦА}}\}, i = \overline{1, n}, \quad (14)$$

где $a_i^{\text{ДЦА}}$ – значение i -го параметра обеспечения, предоставляемого БОС космического аппарата ДЦА для ее нормального функционирования.

Совместное рассмотрение формул (10) и (14) позволяет записать

$$A_{\text{ТХ}}^{\text{ДЦА}} \subset A_{\text{ТХ}}^{\text{рез}} \quad (15)$$

при условии, что

$$a_i^{\text{ДЦА}} \leq a_i^{\text{рез}}, i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

Требуемые количественные и качественные показатели выходного эффекта штатного КА $W_{\text{осн}_i}^{\text{э, треб}}$, их номенклатура определены в тактико-техническом задании (ТТЗ) на опытно-конструкторскую работу и в технических условиях (ТУ) на космический аппарат. Выполнение этих требований гарантирует получение заданного выходного эффекта $W_{\text{осн}}^{\text{э, треб}}$, т. е.

$$W_{\text{осн}}^{\text{э, треб}} \equiv \{W_{\text{осн}_i}^{\text{э, треб}}\}, i = \overline{1, l}. \quad (17)$$

В ходе реализации целевой задачи БЦК КА значения параметров $W_{\text{осн}_i}^{\text{э, реал}}$, характеризующие выходной эффект, как правило, должны доминировать, т. е.

$$W_{\text{осн}_i}^{\text{э, реал}} \succ W_{\text{осн}_i}^{\text{э, треб}}, \quad (18)$$

где \succ – знак доминирования.

А с учетом того, что

$$W_{\text{осн}}^{\text{э}} \equiv \{W_{\text{осн}_i}^{\text{э, реал}}\}, \quad (19)$$

будет справедливо выражение

$$W_{\text{осн}}^{\text{э}} \succ W_{\text{осн}}^{\text{э, треб}}. \quad (20)$$

Таким образом, в процессе нормального функционирования КА получаемый целевой эффект должен, по меньшей мере, быть не хуже заложенного в ТТЗ и ТУ.

Функционирование КА после размещения на нем ДЦА без снижения уровня решения основной целевой

задачи (выполнение принципа приоритетности) позволяет получить дополнительный эффект:

$$W_{\text{доп}}^{\text{Э}} = W_{\text{доп}}^{\text{Э}} (A_{\text{ГХ}}^{\text{ДЦА}}). \quad (21)$$

Качество дополнительного выходного эффекта $W_{\text{доп}}^{\text{Э}}^{\text{треб}}$ в значительной степени определяется уровнем финансирования разработки ДЦА и ее адаптации к конструкции КА:

$$W_{\text{доп}}^{\text{Э}}^{\text{треб}} = A_{\text{ГХ}}^{\text{ДЦА}} \cup C_{\text{фин}}^{\text{ДЦА}}, \quad (22)$$

где $C_{\text{фин}}^{\text{ДЦА}}$ – дополнительные финансовые затраты на создание ДЦА, ее адаптацию к конструкции КА и эксплуатацию в составе КА.

Соответственно, общие расходы на разработку, создание и эксплуатацию при ДИ КА будут

$$C_{\text{фин}}^{\Sigma} = C_{\text{фин}} + C_{\text{фин}}^{\text{ДЦА}}. \quad (23)$$

Итак, для повышения эффективности решения целевых задач в околоземном космическом пространстве целесообразно оснащать штатные КА дополнительной

целевой аппаратурой за счет использования имеющихся резервов и осуществлять использование космического аппарата в интересах двух и более заказчиков. Двойное использование КА может быть определено как способ получения дополнительного выходного эффекта в ходе целенаправленного процесса функционирования КА, реализуемый путем обеспечения решения дополнительных целевых задач за счет более эффективного использования технических возможностей КА наряду с выполнением космическим аппаратом возложенных на него штатных целевых задач. основополагающими принципами двойного использования КА являются принцип приоритетности, принцип конфиденциальности и принцип экономичности.

Библиографическая ссылка

1. Кислицкий М. И. Методика обоснования применения дополнительной целевой аппаратуры на космических аппаратах : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2008.

M. I. Kislitsky

DUAL-USE SPACECRAFT CONCEPTION

Development of dual-use of spacecrafts is very effective for receiving a considerable bonus from the capital that has been invested in spacecraft creation, with the minimal additional investment. Dual use of spacecrafts conceptual scheme, foundations and formalization are given.

Keywords: spacecraft, dual-use, conception.

© Кислицкий М. И., 2011

УДК 629.78.018.3

С. А. Крат

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМИТАТОРОВ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрены вопросы имитации теплового излучения Солнца в процессе тепловакуумной отработки КА и составных частей, дана оценка факторов, влияющих на качество и КПД имитирующих установок. Указаны направления повышения эффективности имитаторов солнечного излучения.

Ключевые слова: тепловакуумные испытания, имитатор Солнца, оптическая система, тепловое излучение, эффективность, КПД.

Существует прямая и весьма сильная связь между надежностью космического аппарата (КА), продолжительностью его штатной эксплуатации и средствами, затраченными на его наземную экспериментальную отработку (НЭО). Чем выше качество и точность имитации условий натурной эксплуатации КА во время НЭО, тем больше вероятность его безотказной работы.

В комплексный план экспериментальной отработки КА включают тепловакуумные испытания, которые подразумевают проверку теплового состояния оборудования и подтверждение расчетных теплофизических характеристик КА.

На тепловое состояние КА оказывают влияние, главным образом, тепловое солнечное излучение и тепловое излучение планет. Следовательно, экспериментальный стенд для наземной тепловакуумной отработки должен обеспечивать, как наиболее influential фактор, воспроизведение теплового солнечного излучения, а именно: устойчивый солнечный спектр в диапазоне длин волн от 200 до 2 100 нм, интенсивность имитации солнечного потока не менее 1 440 Вт/м², неравномерность потока до ± 10 %.

На всех этапах – от проектирования обеспечивающих вышеуказанные условия систем до их технической реализации – необходимо учитывать как рас-

четные отклонения в имитируемом излучении, так и технически невозможные особенности изготовления, поскольку это оказывает значимое влияние на качество этих обеспечивающих систем и в дальнейшем – на надежность КА.

По степени приближенности имитируемого солнечного излучения (ИСИ) к натурному можно судить об эффективности обеспечивающих систем или имитаторов Солнца – основных составляющих таких экспериментальных стендов.

Разумеется, на эффективность ИСИ непосредственное влияние оказывает правильный учет реальных условий штатной эксплуатации при проектировании оптических систем имитаторов Солнца – учет в моделях отличия действительного хода лучей от идеального, с выполнением законов преломления и отражения на реальных поверхностях.

Основным фактором, которым обладают реальные оптические системы в отличие от идеальных и которые обязательно необходимо учитывать при проектировании, является ограничение пучков, т. е. не все существующие лучи проходят через оптическую систему и достигают пространства изображений и свойственные реальным оптическим системам аберрации – отклонения хода лучей. К таким факторам относятся непопадание луча на поверхность вообще (расчет такого луча в дальнейшем невозможен), эффект полного внутреннего отражения, прохождение луча за острым краем, когда луч оказывается в стороне от точки пересечения поверхностей, прохождение луча за краем диафрагмы и снижение энергетической эффективности вследствие ограничения пучков в результате виньетирования.

Современные компьютерные программы для оптических расчетов, однако, позволяют с достаточной точностью прогнозировать будущую эффективность оптической системы уже на этапе моделирования. Программы учитывают вышеперечисленные факторы. При этом, задавая параметры оптических элементов, возможно «отслеживание» эффективности по мере прохождения светового потока через оптическую систему. Так программный пакет Zemax дает возможность посредством размещения «детекторов» рассчитать эффективность практически в любом месте оптической системы, даже внутри элементов. В данном случае определяющим является правильность задания элементов и их характеристик, например, распределение яркости в дуге источника излучения и пространственное распределение его светового потока от источника.

Так, в работе [1] описано экспериментальное исследование характеристик ксеноновой лампы ХВО с помощью реализации несложной светооптической схемы. В процессе последующих шагов в программе Zemax была смоделирована светооптическая схема экспериментального стенда.

Модель этой схемы и распределение энергетической освещенности на детекторе отображены на рис. 1 и 2 соответственно.

Распределение мощности внутри полученного светового пятна для экспериментального исследования и модели представлено в табл. 1 и 2 соответственно.

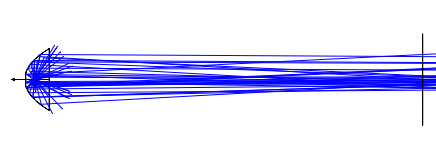


Рис. 1. Модель простейшей оптической системы

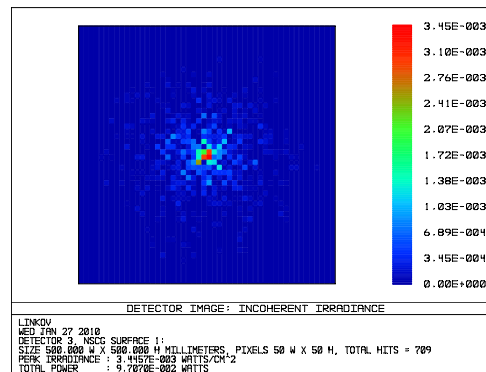


Рис. 2. Распределение энергетической освещенности на детекторе

Таблица 1

Распределение световой мощности, полученное в ходе эксперимента (Вт/м²)

984	1 599	1 968	1 722	1 107
1 722	3 321	5 658	4 428	1 845
2 644,5	11 931	24 600	12 423	3 444
2 263,2	6 519	11 070	4 674	2 337
1 107	1 845	2 214	1 845	1 230
Сумма 114 500			Среднее 4 580	

Таблица 2

Распределение световой мощности, полученное в ходе моделирования (Вт/м²)

129,5	402	624	462,7	120,4
780,7	4 981	9 093	4 751	820,1
1840	12 670	35 370	12 280	1 717
793	5 191	9 213	4 816	838,8
128,5	436,8	588,2	463,4	143,1
Сумма 108 653			Среднее 4 346	

Отличие экспериментальных данных от результата, полученного в ходе моделирования, в части полученной на экране энергетической освещенности составило 5,1 %, что говорит о хорошей сходимости результатов моделирования с данными реальной оптической системы и тем самым подтверждает необходимость тщательного предварительного моделирования в процессе создания таких систем, как имитатор Солнца.

Уровень приближенности излучения к натуральному нужно рассматривать с точки зрения таких параметров, как спектр и равномерность излучения, полученного на испытываемом образце (КА или его составная часть). Эти параметры существенным образом определяют компоновку светооптической схемы и характеристики источника излучения.

В отношении компоновки различают осевые и неосевые оптические схемы. В осевых схемах (рис. 3) все основные элементы ИСИ расположены на одной оси, направление которой совпадает с направлением имитируемого излучения [2].

В данном случае на направлении имитируемого излучения приходится устанавливать вспомогательные отражатели и устраивать в элементах оптической схемы отверстия для прохода излучения, что создает как дополнительные потери КПД имитатора, так и наличие «неосвещенного» пятна в поле объекта испытаний. Также в осевых схемах явно наличие перетражения излучения объекта испытаний на себя. Объект испытаний как бы «видит» сам себя в коллимирующем отражателе ИСИ осевой схемы. Это приводит к тому, что собственное излучение объекта испытаний, излученное в направлении коллимирующего отражателя, частично возвращается к КА обратно. Это также сказывается на качестве и составляет такую погрешность имитации солнечного излучения, учет которой затруднен. Кроме того, в таких схемах поле облученности состоит из отдельных полей, каждое из которых освещается «своим» ламповым модулем, и небольшие различия в параметрах отдельных модулей негативно сказываются на равномерности.

В неосевых оптических системах (рис. 4) источник излучения и корректирующие элементы, как правило, находятся в стороне от оси симметрии направленного

на объект светового потока. Световой поток на объект испытаний формируется развернутым на определенный угол коллимирующим параболическим (реже – сферическим) зеркалом, в фокусе которого располагается или имитируется источник излучения.

Здесь нет элементов, затеняющих поток от коллимирующего зеркала, а разворот коллимирующего зеркала обеспечивает «невозврат» как собственного, так и отраженного излучения от объекта испытаний, что снимает свойственную осевой системе определенную погрешность. Также нет необходимости внедрять в систему дополнительные элементы для прохода излучения внутрь камеры, что значительно сокращает общее количество оптических поверхностей и повышает КПД системы. Однако плотность параллельного потока по сечению пучка будет наибольшей ближе к оси симметрии коллимирующего зеркала и наименьшей – в наиболее удаленных областях. Здесь степень неоднородности по сечению пучка будет зависеть от величины апертурного угла поступающего на зеркало светового потока. Однородность в данном случае можно повысить за счет сокращения апертурного угла, но это влечет увеличение габаритов оптической системы и тепловакуумной камеры в целом [2]. Коллимирующие зеркала в таких схемах приходится изготавливать из фасет из-за больших габаритов, что также вносит свою погрешность в плане однородности.

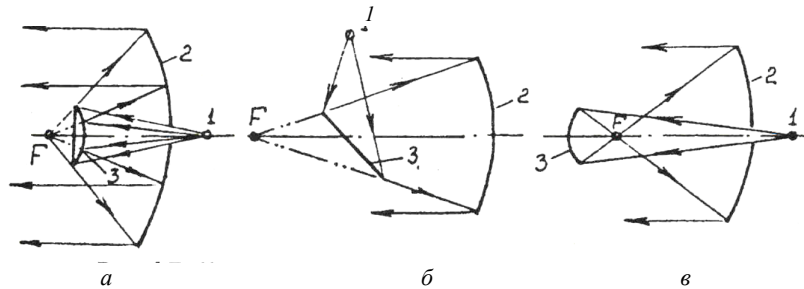


Рис. 3. Классические варианты схем осевого имитатора солнечного излучения:
a – система Кассегрена; *б* – система Ньютона; *в* – система Грегори; 1 – источник излучения; 2 – главное зеркало;
 3 – вторичное зеркало

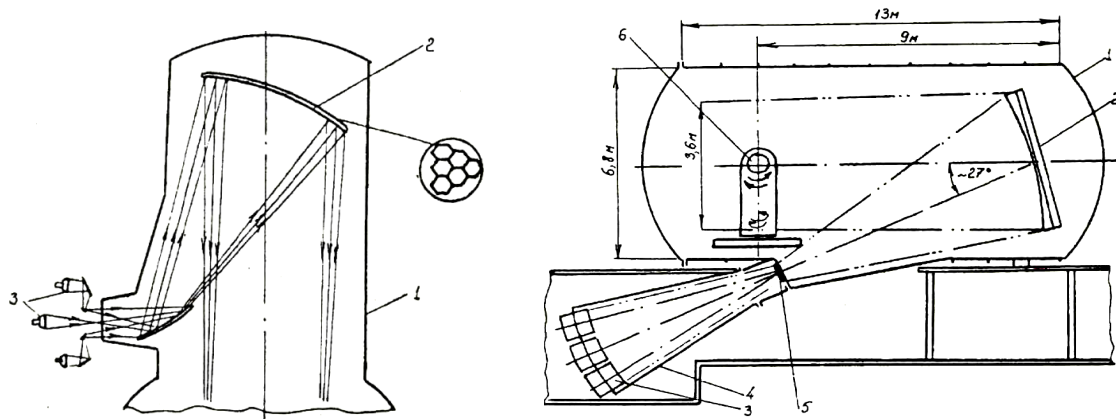


Рис. 4. Варианты неосевых имитаторов солнечного излучения с вертикальным и горизонтальным распространением светового потока соответственно:
 1 – тепловакуумная камера; 2 – главное зеркало; 3 – источник излучения; 4 – ламповая сборка; 5 – входной оптический блок;
 6 – опорно-поворотное устройство

Наиболее важную качественную составляющую имитации солнечного излучения, тем не менее, играет соответствие спектра излучения, поступающего на КА, натурному. Известно, что основная часть энергии электромагнитного излучения Солнца, непосредственно влияющая на тепловой режим КА, заключена в интервале [200; 2 100] нм.

В этом отношении излучение чистого ксенона в процессе электрического газового разряда при сверхвысоком давлении имеет спектральное распределение с цветовой температурой около 6 000 К, наиболее совпадающее с распределением солнечного излучения. При этом размеры излучающей поверхности при очень высокой яркости небольшие, что позволяет их рассматривать как точечные источники излучения и, соответственно, с большей точностью проектировать оптические системы [3]. Но негативным моментом, если посмотреть на спектр (рис. 5), является отличие излучения по спектральному составу от солнечного в области длин волн [800; 1050] нм, где наблюдаются значительные выбросы энергии, более чем в два раза превышающей величину энергии излучения Солнца в этой полосе спектра [4]. В этом интервале содержится приблизительно 15 % от интегральной энергии излучения Солнца, а у ксеноновой лампы – более 30 % от общей энергии излучения.

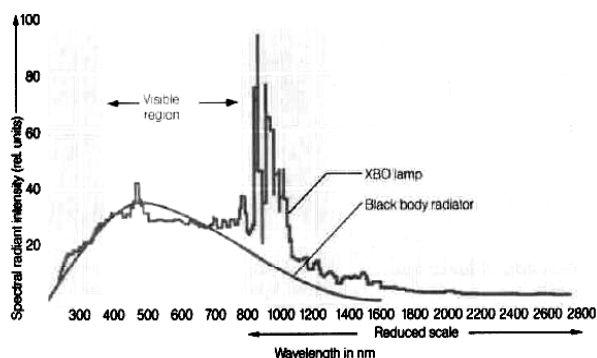


Рис. 5 Спектр ксеноновой лампы ХВО

Также минусом является то, что в высокоомощных ксеноновых лампах (например ДКсРМ-55000) кварцевые колбы или окна необходимо охлаждать сплошным потоком дистиллированной воды для обеспечения их стойкости, а в слоях дистиллированной воды происходит поглощение излучения малых длин волн (часть присущего Солнцу ультрафиолетового излучения) и, соответственно, отклонение спектра.

С точки зрения КПД имитатора эффективность имитатора Солнца можно рассматривать как отношения полезной лучистой энергии, падающей на облучаемую поверхность, к электрической энергии, подводимой к источникам излучения. В данном случае КПД имитатора может быть вычислен как произведение коэффициентов, определяющих потери энергии на каждом из элементов оптической схемы ИСИ. Элементы – это источники излучения, иллюминато-

ры, линзы, отражатели, коллимирующие зеркала и др. На линзах и иллюминаторах поток излучения претерпевает потери при прохождении через поверхности (френелевские потери), а на зеркалах и отражателях – потери, связанные с частичным поглощением энергии. Так, ориентировочные величины потерь энергии, падающей на хорошо алюминированные поверхности зеркал, составляют 13–15 %, а величины потерь, связанных с прохождением излучения через иллюминаторы и линзы – 8–10 % [5].

Как правило, даже при тщательном изготовлении элементов ИСИ их КПД составляет около 10 %.

Исходя из вышеизложенного, в целях максимального приближения излучения имитатора Солнца к натурному, минимизируя при этом затраты, можно выделить следующие мероприятия при повышении эффективности ИСИ:

1. Тщательное предварительное моделирование с учетом характеристик реальных оптических элементов. Здесь необходимо экспериментальное подтверждение построенных моделей с последующей их поправкой исходя из экспериментальных данных.

2. Оптимизация оптической системы на модели с подбором оптимальных сочетаний параметров поверхностей.

3. В целом, по нашему мнению, предпочтительнее с точки зрения эффективности строить неосевую оптическую схему, поскольку причины появления неоднородности присутствуют в обоих типах схем, а КПД в неосевых схемах очевидно выше.

4. Использование интерференционных полосовых светофильтров для частичного отражения характерных выбросов энергии в области длин волн [800; 1050] нм. В частности, для приближения спектрального состава излучения ксеноновых ламп к солнечному можно применять фильтры, например, из двуокиси титана или двуокиси кремния, которые наносятся на одну из линз оптической системы.

5. Отказ от водяного охлаждения поверхностей вблизи электрической дуги и применение воздушного. Возможно применение серийно выпускаемых для кинопромышленности ксеноновых ламп, но при исполнении кварцевой колбы без примесей, поглощающих ультрафиолет.

6. Сокращение количества оптических поверхностей.

7. Максимально точная юстировка при настройке оптической системы.

Реализация данных мероприятий позволит повысить качество обеспечивающих установок, имитирующих натурные условия теплового воздействия на КА, и как следствие – надежность самих КА.

Библиографические ссылки

1. Крат С. А., Филатов А. А., Христин В. В. Тепловакуумные испытания космического аппарата: опыт создания имитатора солнечного излучения на основе современных газоразрядных ламп высокого давления // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2010. Вып. 2(28). С. 73.

2. Колесников А. В., Сербин В. И. Моделирование условий внешнего теплообмена космических аппаратов. М. : ООО «Информация – XXI век», 1997.

3. Козелкин В. В., Денисов Ю. Н. Имитация космического солнечного излучения. М. : Уч.-изд., 1966.

4. HBO Theatre Lamps // Technology and Applications [Electronic recourse] // Osram Sylvania Inc. URL: www.osram.com (data of visit 13.04.2010).

5. Андрейчук О. Б., Малахов Н. Н. Тепловые испытания космических аппаратов. М. : Машиностроение, 1982.

S. A. Krat

INCREASE OF SOLAR RADIATION SIMULATOR EFFICIENCY

This work considers a thermal radiation Sunlight simulating in S/C and components of thermal vacuum test. Estimation of factors influencing quality and EFFICIENCY of simulating installations is given. Directions of Sunlight simulators efficiency increase are specified.

Keywords: thermal vacuum tests, Sun simulator, optical system, thermal radiation, efficiency.

© Krat S. A., 2011

УДК 629.7.018.4

В. Н. Николаев

ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МАССОВОЙ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Разработан термоанемометрический преобразователь массовой скорости воздушного потока. Предложен метод оценивания динамической погрешности измерения на основе построения математических моделей нестационарного теплообмена преобразователя.

Ключевые слова: термоанемометрический преобразователь, массовая скорость, математическая модель, динамическая и статическая погрешности, нестационарный теплообмен.

Исследование аэродинамики летательных аппаратов и определение условий работы оборудования в их отсеках требует результатов измерения вектора массовой скорости воздушного потока. Этот параметр изменяется в широких пределах, а процесс его изменения является нестационарным.

По совокупности предъявляемых требований к преобразователям вектора массовой скорости наиболее целесообразно использовать термоанемометрический метод постоянного тока. При использовании этого метода необходимо решить проблемы измерения нестационарных значений вектора массовой скорости при значительном изменении температуры, а также турбулентности воздушного потока.

Известно, что интенсивность теплообмена тела, омываемого воздушным потоком, неравномерна по поверхности из-за различной толщины и характера движения воздуха в пограничном слое.

Для того чтобы использовать это свойство тела при измерении вектора массовой скорости воздушного потока, необходимо найти оптимальную форму и размеры первичного преобразователя.

Оптимальной формой первичного преобразователя вектора скорости является центрально-симметричная выпуклая фигура, идеал которой – сфера. К центрально-симметричным выпуклым фигурам относятся следующие: тетраэдр, куб, додекаэдр и т. д. Вид фигуры

рационально выбирать из условия оптимизации разрешающей способности и трудоемкости измерительного комплекса, т. е. первичного и вторичного преобразователей, регистрирующего устройства и пр. Если первичный преобразователь будет иметь малое количество граней, то трудоемкость изготовления первичного преобразователя будет низкой, однако алгоритм определения направления перемещения воздуха будет сложен, и, наоборот, если первичный преобразователь будет иметь большое количество граней, то трудоемкость изготовления заметно возрастает, а алгоритм упрощается. Поэтому был выбран додекаэдр (рис. 1), фигура с 12 гранями.

У поверхности летательных аппаратов и в их отсеках может быть турбулентный характер перетекания воздуха. Отсюда грань первичного преобразователя должна воспринимать среднюю массовую скорость воздуха, а не ее флуктуации. Для получения среднеинтегральной интенсивности теплообмена, характеризующейся определенным вектором массовой скорости воздушного потока, размеры чувствительных элементов, нанесенных на грани первичного преобразователя, должны быть больше микромасштаба турбулентности. С другой стороны, первичный преобразователь, введенный в воздушный поток, должен быть настолько мал, чтобы вызываемое им возмущение картины течения было минимально.

Руководствуясь перечисленными требованиями, были выбраны размеры чувствительного элемента (4×5 мм) и первичного преобразователя (диаметр описанной сферы додекаэдра 15 мм).

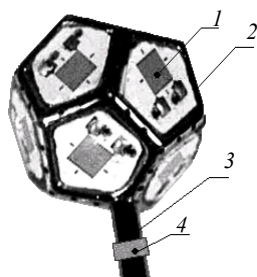


Рис. 1. Преобразователь вектора массовой скорости воздушного потока ДВС:

1 – чувствительные элементы термоанемометра; 2 – корпус; 3 – трубка для крепления преобразователя в заданной точке отсека; 4 – термометр на трубке

Первичный преобразователь вектора модуля массовой скорости воздушного потока (рис. 1) состоит из корпуса 1, чувствительных элементов термоанемометра 2, закрепленных на корпусе преобразователя, трубки 3, служащей для крепления преобразователя в заданной точке отсека, и термометра 4, закрепленного на трубке.

Измерение температуры воздушного потока необходимо для введения поправок на показания термоанемометрических чувствительных элементов при определении модуля массовой скорости.

Вторичный преобразователь вектора массовой скорости представляет собой источник постоянного тока и усилитель выходного сигнала первичного преобразователя.

Алгоритм определения вектора модуля массовой скорости следующий:

1. Получают градуировочную характеристику, т. е. зависимость выходного сигнала с чувствительных элементов термоанемометра в вольтах от температуры воздушной среды T_{air} и модуля массовой скорости J_{air}

(произведения скорости W_{air} и плотности воздушной среды ρ_{air}) в виде таблиц (например, табл. 1).

2. Измеряют температуру воздушной среды.

3. Определяют модуль массовой скорости по зависимости приведенного к количеству чувствительных элементов интегрального выходного сигнала со всех чувствительных элементов термоанемометра от модуля массовой скорости для измеренной температуры.

4. Измеряют давление воздушной среды P_{air} .

5. Рассчитывают плотность воздушной среды по формуле

$$\rho_{air} = 3,4852 \cdot 10^{-3} P_{air} / T_{air}, \quad (1)$$

где давление – в паскалях, а температура – в кельвинах.

6. Если необходимо, то определяют модуль скорости воздушной среды по формуле

$$W_{air} = J_{air} / \rho_{air}, \quad (2)$$

где массовая скорость – в $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, а плотность – в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Направление воздушной среды определяется двумя углами α и β в соответствии с номером (рис. 2) или совокупности номеров чувствительных элементов (граней) с минимальными значениями выходного сигнала (табл. 2).

Угол α отсчитывается от оси X в плоскости XOY против часовой стрелки, угол β – от оси X в плоскости XOZ также против часовой стрелки.

Погрешность определения направления в диапазоне от 0 до 6,28 ср. определяли на основе результатов лабораторных исследований на стенде для моделирования воздушного потока переменной температуры и плотности. Погрешность в зависимости от величины модуля массовой скорости в диапазоне 0,2–50 $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ составляет 0,3–0,6 ср.

Оценивание динамических и статических погрешностей измерения модуля проводилось на основе построения математических моделей нестационарного конвективно-лучистого теплообмена преобразователя в отсеке летательного аппарата.

Таблица 1

Выходной сигнал с чувствительных элементов преобразователя в зависимости от угла α обтекания его воздушным потоком $J_{air} = 2,46 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ при $T_{air} = 283 \text{ К}$

Угол α , рад	Грань											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	3,18	3,19	3,25	3,46	3,03	3,31	3,05	3,31	3,00	2,52	2,55	2,50
0,52	3,25	3,29	3,13	3,57	3,03	3,08	2,68	3,33	3,60	2,61	2,46	2,52
1,04	3,05	3,07	2,94	3,62	2,93	2,47	2,42	3,25	3,59	2,70	2,30	2,49
1,57	2,64	2,14	2,57	3,23	3,15	2,23	2,18	2,41	3,36	3,22	2,38	2,75
2,09	2,54	2,04	2,63	3,22	3,06	2,25	2,23	2,31	3,19	2,96	2,92	3,02
2,61	2,10	2,06	2,09	3,38	3,05	2,29	2,50	2,80	3,41	3,05	2,95	3,07
3,14	2,28	2,15	2,19	2,97	3,30	2,61	3,11	2,76	3,49	3,34	3,06	3,23
3,66	2,23	2,36	2,10	2,67	3,23	3,21	3,38	3,00	3,09	3,25	3,16	3,29
5,23	2,91	2,86	2,82	2,64	2,53	3,15	3,20	3,13	2,77	2,39	2,61	2,81
5,76	3,05	2,95	2,95	2,72	3,09	3,26	3,21	3,11	2,63	2,39	2,66	2,43

Углы α и β направления воздушного потока при номерах чувствительных элементов (граней) с минимальными значениями выходного сигнала

Грани	3, 1, 2	1, 2, 6	2, 6, 7	6, 7, 11	7, 11, 12	11, 12, 10	12, 10, 9	10, 9, 4
Угол α , рад	3,14	2,51	1,88	1,25	0,63	0	5,64	5,01
Угол β , рад	3,14	0	0	0	0,52	0	0,52	0
Номер грани	9, 4, 3	4, 3, 1	3, 2, 8	2, 7, 8	7, 12, 8	12, 9, 8	9, 3, 8	4, 1, 5
Угол α , рад	4,38	3,76	3,14	1,88	0,63	5,64	4,38	2,51
Угол β , рад	2,61	3,65	2,40	1,98	1,18	1,18	1,98	4,32
Номер грани	1, 6, 5	6, 11, 5	11, 10, 5	10, 4, 5	1	2	3	4
Угол α , рад	1,25	0	5,01	3,76	3,14	2,51	3,76	4,38
Угол β , рад	4,32	5,22	5,56	5,22	3,76	0,70	0,70	3,76
Номер грани	5	6	7	8	9	10	11	12
Угол α , рад	0	1,88	1,25	0	5,01	5,64	0,63	0
Угол β , рад	4,70	3,76	0,70	1,57	0,70	3,76	3,76	0,70

Математическое моделирование позволяет найти изменение температуры термоанемометра от нестационарности конвективно-лучистого теплообмена, а также от количественных различий интенсивности теплообмена в реальных условиях и при тарировке термоанемометра. По найденным изменениям температуры определяют названные погрешности.

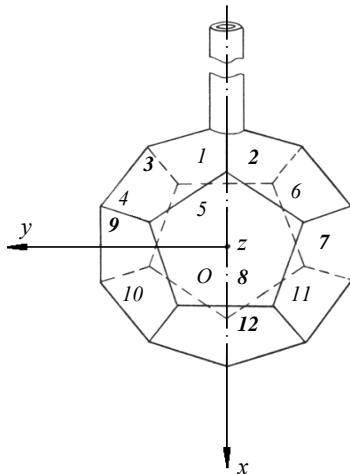


Рис. 2. Схема размещения чувствительных элементов на преобразователе вектора массовой скорости ДВС: 2, 3, 7, 8, 9, 12 – видимые грани; 1, 4, 5, 6, 10, 11 – невидимые грани

Математические модели термоанемометров, соответственно, для реальных условий и тарировки имеют следующий вид [1]:

$$\begin{aligned}
 & C_{sen} T'_{t, sen} + \alpha_{sen}(t) F_{sen} [T_{an} - T_{air}(t)] + \\
 & c_0 \varepsilon_{sen, in, cv} F_{sen, in, cv} \left\{ \left[\frac{T_{an}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{in, cv}(t)}{100} \right]^4 \right\} + \\
 & + c_0 \varepsilon_{sen, eq} F_{sen, eq} \left\{ \left[\frac{T_{an}(t)}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{eq}(t)}{100} \right]^4 \right\} + I_{an}^2 R_{an}(t) = 0;
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 & \alpha_{sen}(t) F_{sen} [T_{an, cl} - T_{air}] + c_0 \varepsilon_{cl} F_{cl} \times \\
 & \times \left\{ \left[\frac{T_{an, cl}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{cl}}{100} \right]^4 \right\} + I_{an}^2 R_{an} = 0,
 \end{aligned} \tag{4}$$

где C_{sen} – теплоемкость преобразователя; α_{sen} – коэффициент теплоотдачи преобразователя при конвективном теплообмене; F_{sen} – площадь теплоотдающей поверхности преобразователя при конвективном теплообмене; T_{an} – температура термоанемометров; c_0 – постоянная Стефана–Больцмана; $\varepsilon_{sen, in, cv}$ – приведенная степень черноты излучения преобразователя и внутренней поверхности обшивки; $F_{sen, in, cv}$ – площадь взаимной поверхности излучения преобразователя и внутренней поверхности обшивки; $T_{in, cv}$ – температура внутренней поверхности обшивки; $\varepsilon_{sen, eq}$ – приведенная степень черноты излучения преобразователя и окружающего преобразователь оборудования; $F_{sen, eq}$ – площадь взаимной поверхности излучения преобразователя и окружающего преобразователь оборудования; T_{eq} – температура поверхности окружающего преобразователь оборудования; I_{an} – электрический ток, протекающий по чувствительным элементам; R_{an} – сопротивление чувствительных элементов; t – время; ε_{cl} – приведенная степень черного излучения преобразователя при тарировке; F_{cl} – взаимная поверхность излучения преобразователя и окружающих поверхностей при тарировке; $T_{an, cl}$ – температура термоанемометров при тарировке; T_{cl} – температура окружающих термоанемометры поверхностей при тарировке.

Уравнения (3), (4) при определенных упрощениях с учетом критериальных соотношений для коэффициентов теплоотдачи преобразователя α_{sen} можно привести к следующему виду:

$$T'_{t,сен} + \vartheta_1 J_{air}^{\vartheta_2}(t) [T_{an} - T_{air}(t)] + \vartheta_3 \left\{ \left[\frac{T_{an}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{in,cv}(t)}{100} \right]^4 \right\} + \vartheta_4 \left\{ \left[\frac{T_{an}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{eq}(t)}{100} \right]^4 \right\} + I_{an}^2 R_{an}(t) = 0;$$

$$\vartheta_1 J_{air}^{\vartheta_2}(t) [T_{an,cl} - T_{air}] + \vartheta_5 \left\{ \left[\frac{T_{an,cl}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{cl}(t)}{100} \right]^4 \right\} + I_{an}^2 R_{an}(t) = 0,$$

где $\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_5$ – параметры математической модели.

Или в общем виде уравнения (5), (6) можно записать следующим образом:

$$Y = F(Y, t, \Theta);$$

$$Y(0) = Y_0,$$

где $\Theta = [\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_5]^T$ – вектор параметров модели.

Получение достоверных величин параметров модели расчетным путем не представляется возможным. Поэтому их оценивание проведем путем параметрической идентификации по данным летных экспериментов и тарировки.

Для численного решения системы (7) используется метод Розенброка второго порядка аппроксимации, согласно которому вычисление решения на одном шаге численного интегрирования происходит следующим образом:

$$Y_{n+1} = Y_n + \alpha k_1 + (1 + \alpha) k_2;$$

$$(I - \alpha h F_y(Y_n, t_n, \Theta)) k_1 = h F(Y_n, t_n + \alpha h, \Theta);$$

$$(I + \alpha h F_y(Y_n, t_n, \Theta)) k_2 = h F(Y_n + \alpha k_1, t_n + 2\alpha h, \Theta);$$

$$\alpha = 1 - 1/2^{0.5},$$

где h – шаг интегрирования; I – единичная матрица; F_y – матрица Якоби системы (7).

Решение задачи оценивания параметров осуществляется путем минимизации суммы квадратов невязок между измеренными в ходе испытаний значениями температур и соответствующими значениями температур, полученными в ходе расчета по уравнениям модели. При этом используется квазиньютоновский метод минимизации, согласно которому очередное направление поиска определяется из системы уравнений:

$$B^k S^k = -df(\Theta^k),$$

где B^k – оценка матрицы вторых производных в текущей точке Θ^k ; df – градиент функции f .

Для вычисления градиента минимизируемой функции необходимо иметь производные от решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений по параметрам, которые называются функциями чувствительности.

В программном обеспечении функции чувствительности вычисляются в результате одновременного решения системы (7) и системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которая получается из нее в результате дифференцирования по параметрам и имеет вид

$$Y_v(0) = F_y Y_v + F_v;$$

$$Y_v(0) = 0.$$

При этом используется экономичный алгоритм вычисления функции чувствительности, предложенный в работе [2].

Значения полученных параметров v приведены в табл. 3.

Динамическая и статическая погрешности определяются разностью значений температуры T_{an} термометра в реальных условиях и при тарировке. Входящие в уравнения (3), (4) величины температур T_{cv} , T_{air} , T_{eq} и модуля массовой скорости J_{air} примем соответствующими результатам летного эксперимента самолета для режимов, пропорциональных режимам программ летных ресурсных испытаний. Доверительные интервалы рассматриваемых погрешностей массовой скорости в диапазоне 0,2–50 кг / (м²·с) равны $4 \cdot 10^{-2}$ кг / (м²·с) при доверительной вероятности 0,95.

Таким образом, разработан термоанемометрический преобразователь массовой скорости воздушного потока в форме додекаэдра. Предложен метод оценивания динамической погрешности измерения и исследованы методические погрешности измерения.

Библиографические ссылки

1. Николаев В. Н. Экспериментально-теоретический метод определения параметров теплообмена бортового оборудования самолета-истребителя // Алгоритмическое и программное обеспечение исследований внешних воздействий на бортовое оборудование самолетов и вертолетов : науч.-техн. сб. Новосибирск : СибНИА, 1989. Вып. 4. С. 17–26.
2. Гусев С. А., Демидов Г. В. Алгоритм идентификации параметров жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений : препринт / АН СССР. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 1983.

Таблица 3

Параметры математической модели (5), (6)

Параметры модели	$\vartheta_1, c^{-1} (кг/м^2 \cdot c)^{-\nu_2}$	ϑ_2	$\vartheta_3, К \cdot м^2/Дж$	$\vartheta_4, К \cdot м^2/Дж$	$\vartheta_5, К \cdot м^2/Дж$
Значение параметров	0,62	0,42	$8,43 \cdot 10^{-2}$	$8,61 \cdot 10^{-2}$	$8,54 \cdot 10^{-2}$

V. N. Nikolaev

THERMO ANEMOMETRIC TRANSDUCER OF AIRFLOW MASS VELOCITY

Thermo anemometric transducer of airflow mass velocity has been developed. Estimation method of dynamic measurement error on the basis of the transducer unsteady heat exchange mathematical modeling is suggested in the article.

Keywords: thermo anemometer, mass velocity, mathematical model, dynamic and static errors, unsteady heat exchange.

© Николаев В. Н., 2011

УДК 630.36

Е. Н. Окладникова, Е. В. Сугак

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНЫХ ФАКТОРОВ*

Предложена методика расчета интенсивности отказов и остаточного ресурса безопасной эксплуатации технического объекта с учетом случайных факторов. Результаты расчетов позволяют определять вероятность отказа объекта и минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций при решении задач оптимизации систем технического обслуживания и обеспечивать управление безопасностью при эксплуатации потенциально опасных объектов.

Ключевые слова: эксплуатация, ресурс, безопасность, риск, интенсивность отказов, техническое обслуживание.

При эксплуатации любых технических объектов происходит старение их элементов в результате различных механических, тепловых, электрических и других физико-химических процессов или под воздействием внешних и внутренних нагрузок различной природы. Эти процессы и факторы вызывают накопление повреждений, развитие дефектов, необратимые изменения свойств конструкционных материалов и параметров элементов технических объектов и, как следствие, постепенное снижение их функциональности, что впоследствии приводит к отказам и к наступлению предельного состояния, после чего дальнейшая эксплуатация невозможна.

Эффективность эксплуатации технического объекта, в первую очередь, связана с его использованием по назначению, поэтому основная задача управления процессом технического использования заключается в повышении доли времени использования при приемлемых затратах на техническое обслуживание и ремонт [1].

Современный уровень научно-технического прогресса позволяет создавать объекты, которые обладают высокой надежностью. Основой для этого служит комплекс мер, применяемых на стадиях проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации. Наиболее актуальной является проблема прогнозирования и обеспечения технического ресурса объекта. Общая схема оценки остаточного ресурса представлена на рисунке [2].

По результатам прогнозирования на стадии эксплуатации возможно увеличение ресурса и сроков

эксплуатации элементов технических систем. Решение этой задачи предусматривает установление качественных и количественных закономерностей, определяющих ресурс, разработку методов оценки влияния различных факторов на средний ресурс и разброс ресурса эксплуатируемого объекта [1–4].

Контролируемыми параметрами могут быть как непосредственно измеряемые величины повреждений (глубина коррозии или износ детали), так и выходные параметры оборудования (производительность, коэффициент полезного действия, степень разделения, очистки) и другие количественные показатели качества. Контроль изменения этих параметров по мере приближения их значений к предельно допустимым позволяет прогнозировать момент наступления отказа [5; 6]. Оценка надежности в данном случае осуществляется путем проведения периодических обследований оборудования, измерения значений определяющего параметра, статистической обработки результатов измерений и последующего расчета показателей надежности.

Совершенствование методов расчетов требует, в частности, учета стохастической изменчивости свойств и структуры системы, а также изменчивости других случайных факторов. Необходимым этапом развития статистического подхода должна стать разработка в рамках существующих детерминированных схем расчета методики оценки надежности с учетом изменчивости свойств материала и значительной неопределенности исходных данных.

*Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.2/2076).

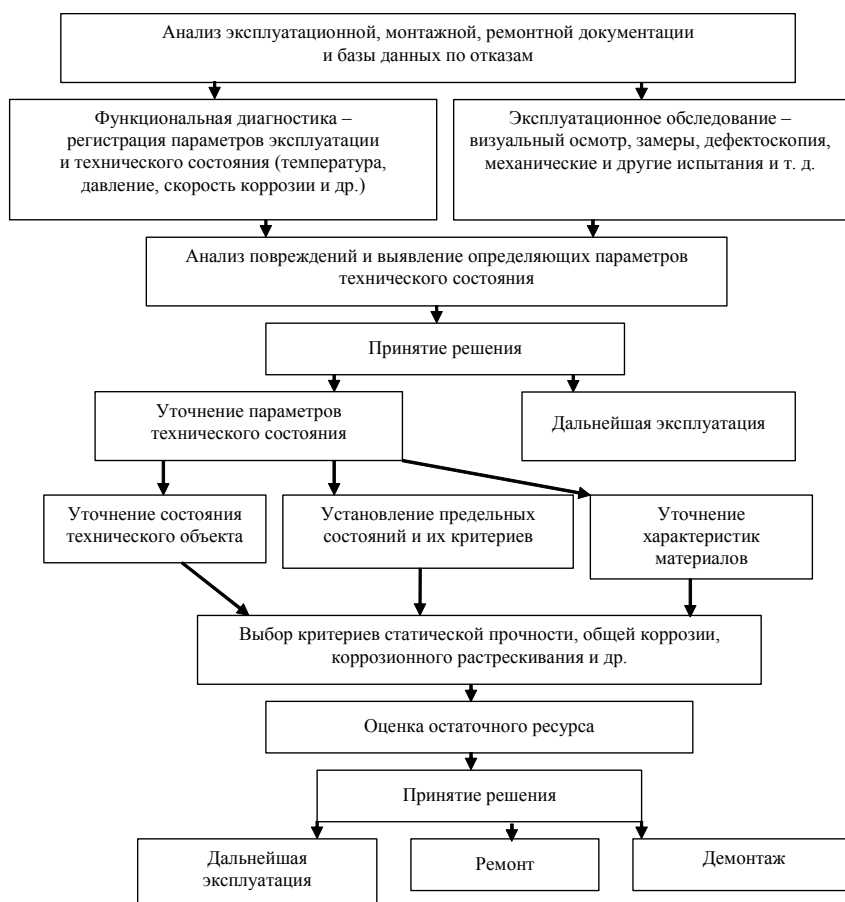


Схема оценки остаточного ресурса

В таких схемах предполагается, что данный материал имеет одинаковые значения физико-механических характеристик во всех точках «активной зоны». Однако расчет должен вестись с использованием математических ожиданий этих показателей. Ввиду ограниченности доступного объема информации о свойствах и сложности их учета, практически невозможно достоверно определить набор известных математических ожиданий характеристик. Приходится пользоваться их оценками, которые асимптотически сходятся к соответствующим истинным значениям, но фактически являются случайными величинами и имеют распределения.

Надежность системы в таком случае определяется как вероятность ненаступления ни одного из возможных предельных состояний в течение заданного срока эксплуатации.

В качестве примера выполнен расчет надежности с учетом случайных факторов по материалам экспертизы технического состояния отгонной колонны (замеры толщины стенки обечайки в 149 точках), находящейся в эксплуатации 29 лет. Технические характеристики следующие: рабочее давление – 0,6 кгс/мм² или вакуум, рабочая среда – латекс, объем – 29 650 м³, температура – от 30 до 65 °С, фактическая толщина металла обечайки сосуда – 12 мм, с учетом поля допуска – 12 ± 0,2 мм [7].

Среднее квадратическое отклонение толщины стенок обечайки находится исходя из предположения о нормальном распределении по правилу «трех сигм»:

$$\sigma_{исх} = \frac{S_{max} - S_{min}}{6} = \frac{12,2 - 11,8}{6} = 0,067 \text{ мм} . \quad (1)$$

Математическое ожидание $\mu_{исх}$ приравнивается среднему значению $S_{cp} = 12$ мм.

По результатам замеров через $t = 29$ лет эксплуатации определяется максимальная и минимальная толщина стенки обечайки, среднее значение $\mu_{эсп} = S_{cp} = 6,37$ мм и среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_{эсп} = \frac{S_{max} - S_{min}}{6} = \frac{6,84 - 5,83}{6} = 0,17 \text{ мм} . \quad (2)$$

На основе найденных значений $\sigma_{исх}$, $\sigma_{эсп}$ и $\mu_{исх}$ и $\mu_{эсп}$, используя генератор случайных чисел MathCAD, получено по 1 000 значений исходной и фактической толщины стенки $S_{исх}$ и $S_{эсп}$.

При оценке ресурса по определяющему параметру $X(t)$ (в рассматриваемом случае это толщина металла обечайки сосуда) обычно используется зависимость вида

$$X(t) = X_0 - \gamma t^n, \quad (3)$$

где X_0 – начальное значение определяющего параметра; γ – скорость изменения параметра; показатель

степени n может принимать значения из интервала от 1 до 2 [1].

В двух предельных случаях при $n = 1$ и $n = 2$

$$X(t) = X_0 - \gamma t, \quad X(t) = X_0 - \gamma t^2. \quad (4)$$

Тогда оценка полного T ресурса при известном значении γ производится решением уравнений (4) при $X = X_{пр}$, оценка остаточного ресурса при $X = X_{эсп}$:

$$T = \frac{X_0 - X}{\gamma}, \quad T = \sqrt{\frac{X_0 - X}{\gamma}}. \quad (5)$$

Величина предельного износа $X_{пр}$ определяется из условий прочности, требований нормативно-технической документации или исходя из требований безопасности.

Расчетное значение допустимой толщины металла из условий прочности определяется как

$$X_{пр} = \frac{P_{раб} D}{2\varphi(\sigma_{доп} - P_{раб})} = \frac{0,6 \cdot 2400}{2 \cdot 1 \cdot (168 - 0,6)} = 4,29 \text{ мм},$$

где $P_{раб} = 0,6$ кгс/мм² – рабочее давление; $D = 2400$ мм – внутренний диаметр сосуда; $\varphi = 1$ – коэффициент прочности сварного шва; $\sigma_{доп} = 168$ МПа – допустимое напряжение для расчетной температуры.

Для нахождения функции определяющего параметра $X(t)$ необходимо знать совместный закон распределения $f(X)$ случайной величины X .

В общем случае закон распределения случайной величины X имеет вид

$$F(X) = P[(X_0, \gamma) \subset D] = \iint_{D(X \leq x)} f(X_0, \gamma) dX_0 d\gamma. \quad (6)$$

Математическая задача определения $F(X)$ сводится к решению двукратного интеграла. Для случая, когда $X = X_0 + \gamma t$, интеграл берется по области D , где $X_0 + \gamma t < x$. Таким образом, получаем конкретные пределы интегрирования:

$$F(X) = \iint_D f(X_0, \gamma) dX_0 d\gamma = \int_{-\infty}^x \int_{-\infty}^{\frac{x - \gamma t}{t}} f(X_0, \gamma) d\gamma dX_0. \quad (7)$$

Плотность распределения $f(X)$ получим, дифференцируя по величине x , которая входит как параметр в верхний предел интеграла. Так как случайные величины X_0 и γ независимы и равноправны, плотность распределения находится как

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(X_0) f_2(X - X_0) dX_0 \quad (8)$$

или

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(X - \gamma) f_2(\gamma) d\gamma, \quad (9)$$

где f_1 и f_2 – плотности распределения аргументов и возможные значения аргументов неотрицательны.

Принимая для них нормальный закон распределения, получим

$$f(X_0) = \frac{1}{\sigma_{X_0} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[X_0 - \mu_{X_0}]^2}{2\sigma_{X_0}^2} \right\}, \quad (10)$$

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[\gamma - \mu_\gamma]^2}{2\sigma_\gamma^2} \right\}. \quad (11)$$

Закон распределения случайной величины X определим как [8]:

$$f(X) = \frac{1}{2\pi\sigma_{X_0}\sigma_\gamma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{[X_0 - \mu_{X_0}]^2}{2\sigma_{X_0}^2} \right\} \times \exp \left\{ -\frac{[X_0 - X - \mu_\gamma]^2}{2\sigma_\gamma^2} \right\} dX_0. \quad (12)$$

После преобразований получим

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[X - \mu_X]^2}{2\sigma_X^2} \right\}, \quad (13)$$

где

$$\mu_X = \mu_{X_0} - t\mu_\gamma \quad \text{или} \quad \mu_X = \mu_{X_0} - t^2\mu_\gamma, \quad (14)$$

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^2 \cdot \sigma_\gamma^2} \quad \text{или} \quad \sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^4 \cdot \sigma_\gamma^2}, \quad (15)$$

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^2 \cdot \sigma_\gamma^2} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[X - (\mu_{X_0} - t\mu_\gamma)]^2}{2(\sigma_{X_0}^2 + t^2 \cdot \sigma_\gamma^2)} \right\}$$

или

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^4 \cdot \sigma_\gamma^2} \sqrt{2\pi}} \times \exp \left\{ -\frac{[X - (\mu_{X_0} - t^2\mu_\gamma)]^2}{2(\sigma_{X_0}^2 + t^4 \cdot \sigma_\gamma^2)} \right\}. \quad (16)$$

Далее необходимо определить вид и функцию распределения ресурса. Так как вывод аналитических зависимостей представляет определенные сложности, имеет смысл решать данную задачу в численном виде. Значения t , μ_{X_0} , μ_X , σ_{X_0} и σ_X известны, используя формулы (14), (15) определяем μ_γ и σ_γ :

$$\mu_\gamma = \frac{\mu_{X_0} - \mu_X}{t} \quad \text{или} \quad \mu_\gamma = \frac{\mu_{X_0} - \mu_X}{t^2}, \quad (17)$$

$$\sigma_\gamma = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 - \sigma_X^2}}{t} \quad \text{или} \quad \sigma_\gamma = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 - \sigma_X^2}}{t^2}. \quad (18)$$

После определения значений μ_γ и σ_γ с помощью генератора случайных чисел программы MathCAD получено 1 000 значений скорости изменения определяющего параметра и 1 000 значений ресурса. После проверки гипотезы о законе распределения с помо-

щью критерия Колмогорова строится функция распределения ресурса, которая хорошо аппроксимируется функцией нормального распределения:

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[T - \mu_t]^2}{2\sigma_t^2} \right\}. \quad (19)$$

По полученным данным определены параметры функции распределения полного и остаточного ресурсов (табл. 1).

Таблица 1

Параметры функции распределения полного и остаточного ресурсов

Зависимость	μ_m	σ_m	$\mu_{ост}$	$\sigma_{ост}$
$X(t) = X_0 - \gamma t$	39,769	0,756	29,165	4,026
$X(t) = X_0 - \gamma t^2$	33,959	0,322	29,013	2,006

Исходя из функциональных связей между показателями безотказности, интенсивность отказов (условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник) определяется как [9]:

$$\lambda(t) = \frac{f(T)}{\int_{\tau} f(T) dt}, \quad (20)$$

где $f(t)$ – плотность распределения ресурса.

Тогда для рассматриваемого случая

$$\lambda(t) = \frac{\left(\frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[T - \mu_t]^2}{2\sigma_t^2} \right\} \right)}{\int_{\tau} \left(\frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{[T - \mu_t]^2}{2\sigma_t^2} \right\} \right) dt}. \quad (21)$$

Для решения интеграла произведена замена переменных:

$$\int_{\tau} f(T) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{\tau} \exp \left\{ -\frac{[T - \mu_t]^2}{2\sigma_t^2} \right\} dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\xi} \exp(-x^2) dx, \quad (22)$$

где $x = \frac{T - \mu_t}{\sqrt{2}\sigma_t}$, откуда $t = \sqrt{2}\sigma_t x + \mu_t$; $dt = \sqrt{2}\sigma_t dx$ и

$$\xi = \frac{T - \mu_t}{\sqrt{2}\sigma_t}.$$

Раскладывая функцию (22) в ряд Тейлора, можно записать [10]:

$$\exp(-x^2) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-x^2)^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n}}{n!}. \quad (23)$$

Следовательно:

$$\int_{\tau} f(T) dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\xi} \exp(-x^2) dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\xi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n}}{n!} dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \xi^{2n+1}}{n!(2n+1)} \quad (24)$$

или

$$\int_{\tau} f(T) dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left((T - \mu_t) / \sqrt{2}\sigma_t \right)^{2n+1}}{n!(2n+1)}, \quad (25)$$

где n – количество членов ряда, при $n = 30$ погрешность составляет 10^{-6} .

Тогда формула (21) примет вид

$$\lambda(t) = \frac{\left(\frac{1}{\sigma_t \sqrt{2}} \exp \{ -x^2 \} \right)}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \xi^{2n+1}}{n!(2n+1)}}. \quad (26)$$

Некоторые результаты расчетов значений интенсивности отказов и остаточного ресурса приведены в табл. 2.

Таблица 2

Интенсивность отказа объекта

Зависимость определяющего параметра	Остаточный ресурс $T_{ост}$, лет	Интенсивность отказов λ , Γ^{-1} (ч^{-1})
$X(t) = X_0 - \gamma t$	42	$3,68 \cdot 10^{-4}$ ($4,21 \cdot 10^{-8}$)
$X(t) = X_0 - \gamma t^2$	35	$1,78 \cdot 10^{-3}$ ($2,04 \cdot 10^{-7}$)

Разработанная методика позволяет определять интенсивность отказов и остаточный ресурс безопасной эксплуатации технического объекта по данным о его текущем состоянии. Результаты расчетов позволяют определять вероятность отказа объекта и минимизировать риск возникновения аварийных ситуаций при решении задач оптимизации систем технического обслуживания и обеспечивать управление безопасностью при эксплуатации потенциально опасных объектов [1; 11; 12].

Библиографические ссылки

1. Окладникова Е. Н. Оптимизация системы технического обслуживания потенциально опасных объектов : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 : защищена 18.06.2008 : утв. 10.10.2008. Красноярск : СибГАУ. 2008.
2. РД 09-102-95. Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, подконтрольных Госгортехнадзору России : утв. постановлением Госгортехнадзора России от 17.11.95 г. № 57 [Электронный ресурс]. URL: www.docload.ru/basesdoc/3/3022/index.htm.
3. Макаров Ю. В. Определение остаточного ресурса промышленных трубопроводов в условиях локализо-

ванной механохимической повреждаемости : дис. ... канд. техн. наук : 250019. Уфа, 2004.

4. Окладникова Е. Н., Сугак Е. В. Вероятностная оценка ресурса узлов трения и износа // Вестник СибГАУ. Вып. 6. 2005. С. 148–152.

5. ГОСТ 23942–80. Оценка показателей качества продукции по изменениям контролируемого параметра. М. : Изд-во стандартов, 1980.

6. РД 26-10-87. Методические указания. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном разрушении [Электронный ресурс]. URL: www.docload.ru/basesdoc/9/9080/index.htm.

7. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. Т. 1. М. : Машиностроение, 2001.

8. Светлицкий В. А. Статистическая механика и теория надежности. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002.

9. Надежность технических систем / Е. В. Сугак [и др.] Красноярск : МГП «Раско», 2001.

10. Математика : энцикл. / под. ред. Ю. В. Прохорова. М. : Большая Российская энциклопедия, 2003.

11. Окладникова Е. Н., Сугак Е. В., Игнатьев Д. А. Оптимальное управление безопасностью промышленных объектов // Вестник СибГАУ. Вып. 4 (17). 2007. С. 43–47.

12. Окладникова Е. Н., Сугак Е. В. Управление техническим состоянием потенциально опасных объектов // Системы управления и информационные технологии : науч.-техн. журн. Вып. 1.1(35). М. : Научная книга, 2009. С. 192–196.

E. N. Okladnikova, E. V. Sugak

ESTIMATION OF RESIDUAL RESOURCE OF SAFE EXPLOITATION TAKING INTO ACCOUNT CASUAL FACTORS

The authors offer a method for calculation of intension of refuses and residual resource of safe exploitation of technical object with the account of casual factors. Results of calculations allow to define probability of object refuse and to minimize risk of accident occurrence at the decision of problems of optimization of systems of technical service, and to provide optimum control of safety at exploitation of potentially dangerous objects.

Keywords: exploitation, resource, safety, risk, refuse intensity, technical service.

© Окладникова Е. Н., Сугак Е. В., 2011

УДК 629.7.018.4:534.01

Л. А. Семенова, Е. А. Лысенко, К. Е. Лысенко

МЕТОДИКА ВЫБОРА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Представлена методика выбора универсальной вибрационной системы для динамических испытаний космических аппаратов на примере схемы «тандем». Определены параметры системы и даны рекомендации по ее применению.

Ключевые слова: методика, вибрационная система, испытания, космический аппарат.

Разработка, изготовление и испытания различных космических аппаратов, в том числе и для коммерческих заказчиков иностранных государств, должны соответствовать современным тенденциям расширения рынка полезных нагрузок, рациональному и эффективному использованию космической техники, материалов и космических технологий.

Космические аппараты (КА) на высокоэллиптические и геостационарные орбиты выводятся на ракетах-носителях (РН) типа «Протон». Одной из задач при проектировании, создании новых КА или их модернизации является обеспечение длительного срока активного существования аппаратов на орбите в интересах заказчика.

Космические аппараты связи размещают под головным обтекателем (ГО) ракеты-носителя. Количество и масса выводимых спутников влияет на их компоновку на разгонном блоке РН. Для одновременного

вывода нескольких КА существует три основных вида компоновки: последовательная по схеме «тандем», параллельная и последовательно-параллельная. Поэтому изменяемыми элементами в составе космического комплекса являются и КА, и их компоновка с разгонным блоком. Известно, что максимальные значения параметров механического нагружения системы «РН + разгонный блок + КА» имеют место при запуске двигателей первой ступени, в зоне полета при максимальных скоростных напорах и в момент разделения ступеней. Создаваемая при этом вибрация от работы двигательных установок и средств отделения ступеней и КА от разгонного блока не должна влиять на работоспособность приборов КА и механизмов раскрытия солнечных батарей и антенн. Для обеспечения поставленных задач осуществляется комплекс испытаний – наземная экспериментальная отработка. Такие цели, как отработка параметров конструкции на

образцах, проверка способности элементов КА противостоять разрушающему воздействию нагрузок, достигаются при динамических испытаниях.

На рынке пусковых услуг и полезных нагрузок в мире существует жесткая конкуренция, поэтому снижение затрат на изготовление и экспериментальную отработку конструкций и изделия в целом – одно из условий успешного функционирования предприятий, предоставляющих такие услуги. Выбор испытательных установок всегда связан с изучением перспектив развития проектируемых конструкций КА, а значит и с обоснованием затрат на их изготовление и приобретение комплектующих. Правильный выбор вибрационной системы для испытаний КА различных масс и конструкций будет способствовать снижению себестоимости изделия.

Постановка задачи. На этапах разработки и изготовления КА для проведения виброиспытаний необходимо иметь: вибрационную испытательную систему; режимы виброиспытаний; объект испытаний.

Вибрационная испытательная система создает и воспроизводит определенные механические колебания, передает их объекту испытаний, а также имитирует реальные условия вибрации. Любая вибрационная система имеет свои предельные эксплуатационные параметры, например, максимальное перемещение стола вибростенда или максимальное передаваемое усилие. При превышении предельных параметров неизбежно сокращение ресурса работы вибрационной системы. Поэтому для проведения динамических испытаний необходимо знать параметры системы и иметь некоторый гарантированный запас ($\approx 20\%$).

Крепление объекта испытаний к вибростенду осуществляется при помощи оснастки. Оснастка должна передавать вибрацию от стола к объекту испытаний без искажений, неблагоприятно влияющих на результаты испытаний.

Универсальная вибрационная система обеспечивает качество услуг: по режимам испытаний; параметрам полезной нагрузки; снижению себестоимости изделий в результате ее длительной эксплуатации. Общие параметры режимов испытаний следующие: верхняя и нижняя частота диапазона испытаний; уровень нагружения на каждой частоте; скорость и закон изменения частоты (логарифмический или линейный); длительность испытаний.

Объект испытаний на заводе-изготовителе – это инженерно-квалификационные модели (ИКМ) и массоинерциальные макеты. Инженерно-квалификационные модели полностью соответствуют КА по массе, габаритам, расположению и креплению приборов и панелей солнечных батарей и центру масс всего аппарата.

При определении параметров вибрационной испытательной системы, в первую очередь, необходимо знать:

- параметры КА (массу, форму и размеры, положение центра тяжести); массу оснастки; расчетные значения собственных частот и т. д.;
- режимы испытаний: синусоидальная вибрация со скользкой частотой; широкополосная случайная вибрация; ударное нагружение и ударный спектр;

- мощностные возможности системы (способность системы обеспечить требуемые режимы нагружения для наибольшего по массе из объектов испытаний);

- основные характеристики: перемещение, скорость, частотный диапазон;

- статическую грузоподъемность (нужны ли дополнительные средства для обезвешивания объекта испытаний).

Основные требования к вибрационной системе:

- возможность воссоздания характера и уровня расчетных нагрузок;

- соответствие экспериментальной базы габаритам объектов испытаний;

- учет перспектив развития космической техники на 15–20 лет;

- учет объема экспериментальной отработки и сроков испытаний;

- возможность сбора, регистрации и оперативной обработки измерительной информации; автоматизация испытаний;

- энергетическая обеспеченность, экологическая чистота.

Задача заключается в следующем: определить эксплуатационные параметры универсальной вибрационной системы для испытаний космических аппаратов связи по максимальному толкающему усилию вибровозбудителя.

Последовательность решения задачи:

Выбираем расчетную схему.

1. Составляем уравнения движения для выбранной расчетной схемы, решаем их в аналитическом виде для нахождения собственных частот колебаний.

2. Определяем максимальное значение параметров механического нагружения системы «РН + разгонный блок + КА».

3. Определяем толкающее усилие вибровозбудителя.

4. Определяем основные эксплуатационные параметры вибрационной системы.

Решение задачи. Испытаниям КА связи с компоновкой по схеме «тандем» (рис. 1) соответствует расчетная схема, приведенная на рис. 2, где m_1 – масса подвижной части вибровозбудителя с оснасткой; m_2 – масса ИКМ; m_3 – масса макета; c_1 – жесткость упругих элементов оснастки вибровозбудителя; c_2 и c_3 – жесткости упругих элементов, соответственно, ИКМ и макета; F – толкающее усилие вибровозбудителя; x_1 – перемещение стола вибростенда; x_2 и x_3 – перемещения, соответственно, ИКМ и макета; α_1 и α_2 – коэффициенты сопротивления, соответственно, ИКМ и макета.

При составлении дифференциальных уравнений движения механической системы примем следующие допущения:

- упругие элементы считаем безынерционными;
- механическая система имеет устойчивое положение равновесия; центры тяжести ИКМ, макета и оснастки размещаются на продольной оси арматуры (это позволит не учитывать опрокидывающий момент);
- боковым перемещением масс пренебрегаем.

Принятые допущения позволяют свести механическую систему с распределенными параметрами к системе с тремя степенями свободы. По известной методике [1] составляем уравнения движения:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + \alpha_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_1 x_1 - c_2 (x_2 - x_1) &= F_0 \sin(\omega t), \\ m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \alpha_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + \\ + c_2 (x_2 - x_1) - c_3 (x_3 - x_2) &= 0, \\ m_3 \ddot{x}_3 - \alpha_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_3 (x_3 - x_2) &= 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

где F_0 – амплитуда силы F ; ω – частота вынуждающей силы; t – время нагружения.

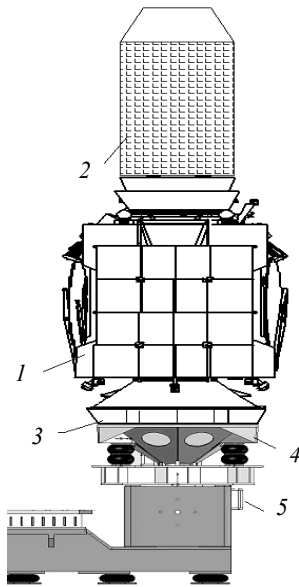


Рис. 1. Схема испытаний КА на воздействие вибрационных нагрузок:

1 – ИКМ; 2 – макет КА; 3 – адаптер; 4 – стол вибростенда; 5 – вибровозбудитель

Решение системы (1):

1. Определение собственных частот колебаний по методу комплексных амплитуд:

– решение ищем в виде $x_j = u_j e^{i\lambda t}$, где $j = 1, \dots, 3$; $i^2 = -1$;

– найдем первую и вторую производные \dot{x}_j, \ddot{x}_j ;

– подставим $x_j, \dot{x}_j, \ddot{x}_j$ в систему:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + \alpha_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_1 x_1 - c_2 (x_2 - x_1) &= 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 - \alpha_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + \alpha_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + \\ + c_2 (x_2 - x_1) - c_3 (x_3 - x_2) &= 0, \\ m_3 \ddot{x}_3 - \alpha_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_3 (x_3 - x_2) &= 0, \end{aligned} \right\} (2)$$

– получим уравнение частот:

$$\begin{vmatrix} -m_1 \lambda^2 + c_2 + \alpha_1 \lambda i + c_1 & -\alpha_1 \lambda i - c_2 & 0 \\ -\alpha_1 \lambda i - c_2 & -m_2 \lambda^2 + c_2 + c_3 + \alpha_2 \lambda i + \alpha_1 \lambda i & -\alpha_2 \lambda i - c_3 \\ 0 & -\alpha_2 \lambda i - c_3 & -m_3 \lambda^2 + c_3 + \alpha_2 \lambda i \end{vmatrix} = 0,$$

– находим собственные частоты колебаний в аналитическом виде: λ_1, λ_2 и λ_3 .

2. Определение перемещения масс m_1, m_2 и m_3 . Собственно перемещение массо-инерциального макета не требуется, так как для решения задачи необходимо первое уравнение системы (1).

3. Задание численного значения масс, жесткостей и коэффициентов сопротивления:

– в запуске 11 февраля 2009 г. на геостационарную орбиту была выведена рекордная для ракет-носителей России полезная нагрузка массой около 3 700 кг (спутники «Экспресс АМ-44» и «Экспресс МД-1»), поэтому для расчетной схемы (рис. 2) примем общую массу модели и макета 3 700 кг из соотношения $m_2/m_3 \approx 2$:

$$m_2 + m_3 = 2 450 + 1 250 = 3 700 \text{ кг};$$

– массу подвижной части вибровозбудителя с оснastкой m_1 примем примерно 20 % от общей массы ИКМ и макета: $m_1 = 740$ кг;

– жесткости данной системы примем $c_1 = 10^4$ Н/м, $c_2 = 3,5 \cdot 10^7$ Н/м, $c_3 = 4,5 \cdot 10^7$ Н/м (из статистических данных);

– коэффициенты сопротивления определим через добротность Q системы [2, с. 27]:

$$\alpha_1 = 57 000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}, \alpha_2 = 32 000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}.$$

4. Нахождение собственных частот системы (2) в численном виде в прикладном вычислительном пакете Maple: $\lambda_1 = 1,50 \text{ с}^{-1}$, $\lambda_2 = 184,16 \text{ с}^{-1}$ и $\lambda_3 = 276,35 \text{ с}^{-1}$. Для дальнейшего расчета частоту λ_1 не учитываем; $\lambda_1 = 0,24$ Гц, а режимы испытаний начинаются с 5 Гц [3, с. 12]. Варьирование численными значениями коэффициентов α_1 и α_2 позволяет сделать вывод о незначительном влиянии силы сопротивления, т. е. это случай «малого сопротивления» [4], и в первом уравнении системы (1) можно пренебречь членом $\alpha_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2)$.

5. Определение максимального значения параметров механического нагружения системы «РН + разгонный блок + КА»:

– максимальное значение динамического нагружения системы «РН + разгонный блок + КА» после сброса ГО соответствует осевой перегрузке n_x в момент разделения ступеней:

$$n_x = 4,5 [3, \text{ с. } 24];$$

– находим максимальную осевую силу, действующую на КА схемы «тандем»:

$$N = (m_2 + m_3) n_x g = c_2 (x_1 - x_2), \\ N = 3 700 \cdot 4,5 \cdot 9,8 = 163 170 \text{ Н} = 163,17 \text{ кН}.$$

При расчете осевой силы не учитывались:

– демпфирование конструкций КА;

– дополнительная осевая сила, обусловленная приращением осевой перегрузки для КА за счет колебательного движения РН.

Таким образом, оставляем для расчета $N = 163,17$ кН, так как эти два пункта компенсируют друг друга.

6. Преобразование первого уравнения системы (1) к виду

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \frac{\ddot{x}_1}{\lambda^2} + c_2 (x_1 - x_2) = F, \text{ где } c_1 x_1 = c_1 \ddot{x}_1 / \lambda^2.$$

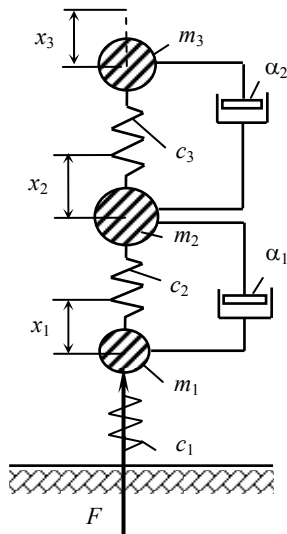


Рис. 2. Расчетная схема

Принимаем, что виброускорение подвижной части m_1 вибрационной системы соответствует осевой перегрузке n_x ракеты-носителя: $\ddot{x}_1 = n_x g = 4,5g$.

Подставим численные значения и найдем тяговую силу F вибровозбудителя:

$$F = 740 \cdot 4,5 \cdot 9,8 + 10^4 \frac{4,5 \cdot 9,8}{184,16^2} + 163\,170 \approx \approx 195\,817 \text{ Н} \approx 195,8 \text{ кН}.$$

7. Определение требуемой скорости вибровозбудителя. Нагружение испытываемых ИКМ и макета должно соответствовать заданным режимам испытаний. Один из самых распространенных методов проведения испытаний – метод испытания синусоидальным сигналом.

Для пиковых значений синусоидального сигнала скорость вибровозбудителя определяется по формуле

$$V = g n_x / (2\pi f),$$

где f – частота (Гц).

Частоту испытаний примем $f = 5$ Гц:

$$V = 9,8 \cdot 4,5 / (2\pi \cdot 5) \approx 1,4 \text{ м/с}.$$

Максимальная скорость вибровозбудителя может быть до 2 м/с в длительном режиме работы, номинальное ускорение (синусоидальное) – до 75g [5, с. 36].

8. Определение перемещения стола вибростенда. При решении задачи рассматривалось движение механической системы только в одном направлении. В действительности испытания ИКМ осуществляются по трем координатам X , Y и Z , следовательно, необходимо предусмотреть перемещение стола вибростенда в горизонтальном и вертикальном направлениях.

9. Определение размеров стола вибростенда. Космические аппараты, выводимые на высокоэллиптические и геостационарные орбиты, являются крупногабаритными изделиями, за характерный размер возьмем диаметр 2 м. Исходя из условий размещения ИКМ на столе вибростенда, его размеры не могут быть меньше площади ИКМ для предотвращения биений на краях объекта. Поэтому ИКМ должна быть установлена на столе вибростенда через специальный адаптер в форме усеченного конуса с диаметрами 460 и 2 000 мм соответственно.

10. Управление вибрационной системой. Конструкция вибровозбудителя должна обеспечить передачу толкающего усилия вдоль оси арматуры, поэтому смещение ИКМ, макета и оснастки от продольной оси может вызвать «опрокидывание» арматуры. ИКМ и макет в этом случае подвергаются воздействию поперечных нагрузок, которые не предусмотрены режимами испытаний. У оснастки возможен резонанс в поперечном направлении: и на ИКМ, и на макет будет действовать значительная неконтролируемая вибрация. Следовательно, необходим контроль поперечного ускорения. Это обеспечивается при многоканальном управлении, когда управляющий сигнал формируется по реакции испытываемого объекта.

Мы определили параметры, позволяющие выбрать универсальную вибрационную систему для динамических испытаний КА.

Каждый производитель вибрационных систем имеет свою «линейку» систем с определенными параметрами, учитывающими требования практики. Из этого ряда выбирается вибрационная система по толкающему усилию вибровозбудителя с большим значением усилия.

Приведем рекомендуемые параметры при выборе вибрационной системы для динамических испытаний КА:

1. Максимальная статическая нагрузка на вибровозбудитель не менее 3 700 кг.
2. Рабочий частотный диапазон – от 0 до 3 000 Гц (задается условиями заказчика).
3. Режимы испытаний: синусоидальная вибрация со скользящей частотой; широкополосная случайная вибрация.
4. Режим нагружения – толкающее усилие вибровозбудителя не менее 235 кН.
5. Основные характеристики:
 - вибростенд – электродинамический с замкнутой системой водяного охлаждения, что исключает потери воды и снижает необходимость в дорогом кондиционировании воздуха (охлаждение необходимо для предотвращения перегрева катушек электромагнитной системы);
 - перемещение стола вибростенда – в горизонтальном и вертикальном направлениях;
 - максимальная скорость вибровозбудителя – до 2 м/с (для режимов испытаний синусоидальной вибрацией);
 - диаметр стола вибростенда не менее 460 мм.

6. Перечень измеряемых компонентов вибрации: амплитуда, частота, перегрузка (ускорение), перемещение, фазовый сдвиг.

7. Управление вибрационной системы – многоканальное с усреднением управляющего сигнала и управлением вибронегрузкой по максимальному значению отклика системы.

8. Аппаратно-программные средства управления и измерения вибрации: с одновременным измерением и регистрацией в табличном и графическом видах параметров колебаний.

9. Результаты измерений: вывод квантованных результатов измерений в виде таблиц, графиков амплитудно-частотных характеристик, фазово-частотных характеристик, диаграмм спектральной плотности.

10. Система обезвешивания – внешняя (пневмоподвеска адаптера с регулировкой давления в зависимости от веса КА).

11. Автоматическая балансировка для гарантированного поддержания арматуры вибростенда в центральном положении при снятии/добавлении нагрузки на стол вибростенда.

Данная универсальная вибросистема может использоваться в следующих случаях:

1. Для виброиспытаний крупногабаритных инженерно-квалификационные моделей с габаритами, превышающими размеры стандартного стола вибростенда:

– при оснащении системы специальными платформами (например, на пневмоподшипниках);

– с расширительными элементами для предотвращения биений на концах образца, которые могут привести к выходу вибровозбудителя из строя.

2. При других схемах компоновки спутников под ГО ракеты-носителя.

При современном развитии ракетно-космической техники наблюдается тенденция к уменьшению массы приборов за счет использования новых материалов с применением нанотехнологий. Поэтому, несмотря на уменьшение массы приборов, масса полезной нагрузки космических аппаратов может оставаться в тех же пределах за счет добавления дополнительных модулей, так как увеличение ее ограничено объемом ГО ракеты-носителя.

Увеличение же массы полезной нагрузки и космического аппарата для высокоэллиптических и геостационарных орбит требует разработки и создания более мощных РН.

Предложенная методика может использоваться специалистами при выборе вибрационных систем в процессе разработки плана наземной экспериментальной отработки космических аппаратов.

Библиографические ссылки

1. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний : учебник для вузов. М. : Высш. шк., 1980.

2. Хейлен В., Ламменс С., Сас П. Модальный анализ: теория и испытания / ООО «Новатест». 2010.

3. Виброиспытания космических аппаратов / Б. П. Соустин [и др.]. Новосибирск : Наука, 2000.

4. Ильин М. М. Теория колебаний : учебник для вузов / под общ. ред. К. С. Колесникова. 2-е изд., стереотип. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.

5. Бейкер Р. Введение в вибрацию. LDS, 1994.

L. A. Semenova, E. A. Lysenko, K. E. Lysenko

APPROACH TO SELECT OF UNIVERSAL VIBRATORY SYSTEM

The authors propose an approach of selection of an universal vibratory system for test operation of dual-launch communication satellites. The system parameters are detected and recommendations for the system adaptation are formulated.

Keywords: approach, vibratory system, testing, space apparatus.

© Семенова Л. А., Лысенко Е. А., Лысенко К. Е., 2011

УДК 004.045

С. А. Чекмарев, М. Ю. Вергазов, Ф. А. Лукин, В. Х. Ханов, А. В. Шахматов

МОДЕЛИРОВАНИЕ БОРТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ IP-БЛОКОВ ДЛЯ МАЛЫХ И СВЕРХМАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ*

Представлены результаты моделирования и апробирования на аппаратном отладочном устройстве модели бортового компьютера для малых и сверхмалых космических аппаратов, созданной на основе открытых IP-блоков.

Ключевые слова: малые космические аппараты, бортовой компьютер, IP-блоки, моделирование функциональных частей.

Проектирование малых и сверхмалых космических аппаратов (СМКА) является новым перспективным направлением развития ракетно-космической техники [1]. Эксплуатационные, конструктивные, технологические и другие отличительные признаки СМКА [2] позволяют определить требования к архитектуре бортового компьютера (БК):

– архитектура должна отвечать принципам открытости, базироваться на апробированной в космической практике коммерческой (индустриальной) архитектуре, поддерживать апробированные индустриальные операционные системы и открытые стандартизированные языки программирования;

– архитектура должна соответствовать принципам унификации, являться универсальной для всех типов СМКА (по крайней мере, от мини- до наноспутников) и иметь, ориентировочно, массу на более 1–1,5 кг, потребляемую мощность не более 1,5–3 Вт;

– вычислительные ресурсы БК (производительность, объем памяти) должны быть достаточными для прямого обслуживания аппаратуры полезной нагрузки (по крайней мере, для большинства применений данного БК);

– архитектура БК должна быть реконфигурированной и позволять изменять в зависимости от назначения космического аппарата (КА) набор и характеристики функциональных узлов, а также объем памяти.

Указанным требованиям к БК удовлетворяет концепция «система на кристалле» (СнК). Конфигурируемые СнК реализуют интегральные устройства, объединяющие встроенный процессор, программируемую логику, память и прочие вспомогательные ресурсы и блоки на одном единственном кристалле. Все эти блоки соединяются между собой внутри кристалла с помощью единого интерфейса.

Среди множества процессорных ядер для реализации СнК (Nios II, Cortex-M1, MicroBlaze, PowerPC, RAD 6 000 и др.) особым образом выделяется процессор LEON3, разработанный для применения в космосе [3].

Архитектура процессора открыта, исходные IP-ядра (коммерческого и индустриального назначения) доступны разработчикам. Фирма Aeroflex Gaisler выпускает 2 версии процессоров: LEON3 – открытый

индустриальный процессор общего назначения, и LEON3-FT – сбоеустойчивый процессор, предназначенный для применения в аэрокосмической отрасли и рекомендованный Европейским аэрокосмическим агентством ESA для применения в новых проектах.

Ядро базового процессора (конвейер, контроллеры кэш-памяти и интерфейс АНВ) использует приблизительно 20 000 вентилях (реализация Virtex 4, Xilinx) и может быть реализовано как на специализированных интегральных схемах (ASIC, Application Specific Integrated Circuits), так и по технологии FPGA (Field Programmable Gate Array). В ASIC-реализации можно достигнуть тактовой частоты, превышающей 400 МГц. На FPGA в зависимости от типа ПЛИС и сложности проекта тактовая частота варьируется от 40 до 120 МГц.

Элементной базой реализации проекта БК по технологии СнК являются радиационностойкие программируемые интегральные схемы (ПЛИС) типа FPGA фирм Actel и Xilinx. Для отработки опытных образцов допускается применение ПЛИС FPGA индустриального применения, например, фирмы Altera.

Указанные обстоятельства определили выбор процессорного ядра LEON для разработки СМКА.

Постановка задачи. Архитектура бортового компьютера на базе процессора LEON3 показана на рис. 1. От типичной архитектуры компьютера на базе LEON3 она отличается лишь наличием контроллера шины SpaceWire. Впрочем, компания Aeroflex Gaisler предлагает собственный контроллер SpaceWire, но только лишь в виде закрытого коммерческого IP-блока. Поэтому в данной разработке был использован IP-блок SpaceWire Light [4]. Основное преимущество блока заключается в его полной открытости и доступности для модификации, что позволяет свободно изменять его под нужды проекта. К недостаткам же SpaceWire Light можно отнести малую начальную функциональность, но этот недостаток устраняется соответствующей доработкой IP-ядра. Представленный на рис. 1 вариант сети SpaceWire состоит из четырех узлов 4 x SpW.

Процессор LEON3 является реконфигурируемым: набор его вычислительных узлов можно изменять в процессе его синтеза.

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» № П11032 от 27 мая 2010 г.

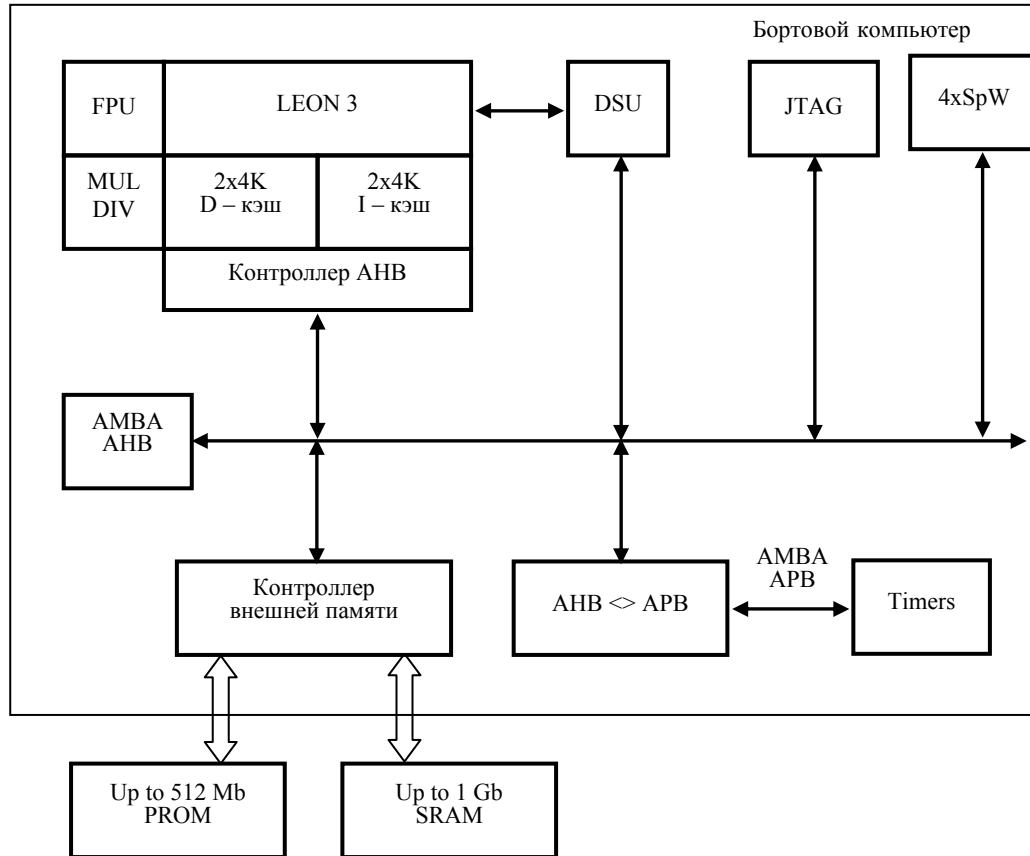


Рис. 1. Структурная схема бортового компьютера

В представленной конфигурации подключены следующие модули: FPU – арифметики с плавающей точкой; MUL/DIV – аппаратного умножения (деления); DSU – отладчик процессора фирмы Aeroflex Gaisler. Поскольку каждый блок процессора представлен отдельным IP-блоком, можно заменить отдельные элементы, не изменяя общей структуры.

Шина AMBA имеет 2 вида: скоростную AHB и низкоскоростную APB. К шине AHB подключаются высокоскоростные устройства, к шине APB – низкоскоростные.

Таймеры Timers служат для организации бортовой шкалы времени. К шине AMBA подключен контроллер внешней памяти, который поддерживает работу с постоянным запоминающим устройством (ПЗУ) и оперативным запоминающим устройством (ОЗУ). В ПЗУ хранится программный код функционирования БК для процессора LEON3 и блок начальной инициализации после включения питания. ОЗУ служит для хранения данных и кода выполняемых процессов. Размер ПЗУ и ОЗУ может варьироваться для конкретного КА, в зависимости от функциональных и программных требований.

Учитывая сложность разработки, множество начальных неопределенностей, была определена следующая стратегия (этапность) ее проведения:

– конечная цель (третий, заключительный этап) – разработка прототипного варианта бортового компьютера СМКА с учетом особенностей космической эксплуатации;

– промежуточная цель (второй этап) – разработка инженерного образца на основе открытых IP-блоков и элементной базы промышленного назначения;

– начальная цель (первый этап) – разработка компьютерной модели бортового компьютера и перенос ее (апробирование) на аппаратный прототип на базе программно-аппаратного отладочного комплекса.

В настоящий момент основные работы первого этапа завершены. Его основные результаты представлены в данной работе.

Инструменты и последовательность моделирования. Инструменты разработки можно разделить на программные для создания компьютерных моделей отдельных устройств и в целом БК и аппаратные для апробирования моделей в отладочных комплексах.

Основной средой моделирования является Mentor Graphics ModelSim. ModelSim – система цифрового моделирования проектов на основе VHDL, Verilog HDL и «смешанных» описаний, позволяющая осуществлять синтез, симуляцию, отладку и анализ цифровых устройств. Она имеет встроенные функции по анализу покрытия кода, визуализации, оптимизации скорости моделирования, трассировке сигналов и др.

Дополнительно использовались следующие среды:

– Xilinx ISE – интегрированная среда разработки, позволяющая скомпилировать vhdl-модель, синтезировать и провести трассировку проекта «система на кристалле» под все семейства ПЛИС корпорации Xilinx;

– Eclipse – свободная интегрированная среда разработки кроссплатформенных приложений; она позволяет писать программы для проектов, основанных на процессоре LEON, в том числе производить отладку процессов, выполняющихся внутри ПЛИС;

– Actel Libero IDE – интегрированная среда разработки, которая включает в себя полный набор инструментов для создания, отладки и верификации, синтеза и физической имплементации проектов, а также генерации файлов прошивки под все семейства ПЛИС корпорации Actel;

– Quartus II – интегрированная среда разработки под семейства ПЛИС фирмы Altera.

Широко применялись программные инструменты компании Aeroflex Gaisler: TSIM, GRMON, GRLIB.

GRMON – общий отладочный монитор для процессора LEON и для проектов типа «система на кристалле». GRMON включает следующие функции и инструменты: чтение (запись) всех системных регистров и памяти; встроенный дизассемблер; загрузку и выполнение приложений на процессоре LEON; дистанционный отладчик GNU (GDB); поддерживает USB, JTAG, RS232, PCI, Ethernet, SpaceWire интерфейсы.

TSIM – программа, эмулирующая архитектуру процессора LEON. Она предназначена для быстрой отладки программ, разработанных для выполнения под архитектурой SPARC v8.

GRLIB – библиотека, которая включает в себя набор открытых IP-блоков, написанных на языке VHDL (процессор LEON3, шина AMBA, интерфейсы ввода/вывода (RS-232, Ethernet и др.)), а также тесты для проверки их работоспособности [5].

В качестве операционной системы БК использовалась RTEMS (Real-Time Executive for Multiprocessor Systems) – операционная система реального времени с открытым исходным кодом, разработанная для встраиваемых систем.

Аппаратное обеспечение проекта представлено следующими устройствами:

1. Плата GR-CPIC-XC4V на базе ПЛИС Virtex4 фирмы Xilinx, входящая в комплекс GR RASTA [6] (Aeroflex Gaisler). GR-CPIC-XC4V поставляется с предустановленным БК на процессоре LEON3 в типовой конфигурации. Аппаратные ресурсы GR-CPIC-XC4V полностью соответствуют структуре БК, показанной на рис. 1.

2. DFPGA-02 на базе ПЛИС Cyclone III фирмы Altera (разработка СибГАУ). Отладочная плата DFPGA-02 предназначена для отработки вопросов практической реализации различных алгоритмов цифровой обработки сигналов. Данная плата позволяет проводить отладку IP-ядра в ПЛИС и передавать необходимую отладочную информацию непосредственно на ПК по интерфейсу USB.

3. Actel ProASIC3 Starter Kit на базе ПЛИС A3P250-PQ208 фирмы Actel. Плата для отладки проектов на базе ПЛИС семейства Actel ProASIC3. Конструкция платы позволяет получить полный доступ ко всем выводам и внутренним ресурсам ПЛИС. Под-

держивается LVDS, что позволяет проводить разработку и отладку проектов, использующих SpaceWire.

Как следует из описания используемых аппаратных отладочных устройств, только GR-CPIC-XC4V можно рассматривать в качестве полнофункционального отладчика для решения задач данного проекта. Остальные два устройства можно использовать только для апробирования отдельных моделей составных частей БК: DFPGA-02 использовался для отладки ядра процессора LEON3, а Actel ProASIC3 Starter Kit – для отработки модели контроллера SpaceWire. Но применение такого разнообразия отладчиков на разных типах ПЛИС вполне оправданно по следующим причинам: возможность параллельной отработки отдельных частей проекта разными разработчиками; изучение сред и технологий проектирования для ПЛИС, которые будут использоваться для разработки инженерного, а затем и прототипного варианта БК (ПЛИС фирмы Actel).

Важным принципом отработки моделей являлся непрерывный перенос отлаживаемых компьютерных моделей отдельных частей БК в указанные аппаратные отладчики. Данный подход (ранняя интеграция на аппаратную платформу) позволяет выявлять ошибки синтеза моделей и способствует оптимизации кода моделей устройств БК по количеству занимаемых логических элементов. Таким образом, процесс разработки моделей и их аппаратного апробирования был неразрывен.

Хотя, как уже отмечалось выше, часть работ по моделированию и апробированию в аппаратных отладчиках проводилась параллельно, с целью согласованной интеграции в целом модели БК на GR-CPIC-XC4V была определена следующая последовательность работ и отработки моделей.

1. Выполнить комплекс ознакомительных тестов с применением предустановленного варианта БК, поставляемого на отладочном устройстве GR-CPIC-XC4V. Предустановленный вариант БК включает полный набор IP-блоков, соответствующий рис. 1. Часть IP-блоков являются открытыми, часть, например SpaceWire, – закрытыми. Минимальный набор тестов должен состоять из тестов ядра процессора LEON3, тестов шины AMBA, тестов памяти, тестов контроллера SpaceWire. Отдельной большой частью работы являлась загрузка в модель БК многозадачной операционной системы RTEMS.

2. Произвести выбор открытых IP-блоков – кандидатов для включения в БК СМК; произвести их автономное моделирование и моделирование во взаимосвязи с другими элементами БК; выполнить апробирование полученных моделей с помощью имеющихся аппаратных отладочных устройств.

3. Выполнить заключительную интеграцию модели БК, состоящей полностью из открытых IP-блоков; перенести модель БК на аппаратную платформу GR-CPIC-XC4V; провести автономное тестирование моделей как составных частей БК; выполнить загрузку операционной системы; провести испытания взаимодействия БК с внешними устройствами с использованием интерфейса SpaceWire.

Результаты моделирования. Задача выполнения ознакомительных тестов БК, предустановленного в GR-CPCI-XC4V, включала следующие виды работ: проверку выполнения программ в БК; проверку загрузки операционной системы в БК; проверку выполнения программы, находящейся под управлением операционной системы; проверку внешних интерфейсов БК – UART и SpaceWire.

Опишем несколько из проведенных тестов, например, тест взаимодействия процессора LEON3 с внешней памятью. Отладчик GR-CPCI-XC4V имеет внешнюю FLASH-память. Задача состояла в загрузке с помощью GRMON в память отладчика тестовой программы, выполняемой под управлением операционной системы RTEMS. Результаты теста через UART интерфейс GR-CPCI-XC4V отправлялись на внешний компьютер.

Загрузка RTEMS обеспечивалась загрузчиком U-BOOT, скомпилированным специально под выполнение процессором LEON на отладчике GR-CPCI-XC4V. С помощью GRMON тестовая программа была размещена во внешней FLASH-памяти. Листинг команд загрузки представлен ниже:

```
grmon> flash unlock all
grmon> flash erase all
grmon> flash lo u-boot
grmon> flash lo rtems-tasks.uimg.o
grmon> run
```

Таким образом, в данном тесте была проведена проверка взаимодействия FLASH-памяти и процессора LEON3. Одновременно проведена проверка запуска на выполнение операционной системы RTEMS.

Представим результаты тестирования интерфейса SpaceWire. Задача тестирования заключалась в передаче данных по физическому кабелю между двумя портами SpaceWire, отконфигурированных под закрытый IP-блок grspw из библиотеки GRLIB. Скомпилированная тестовая программа «grspw-demo» предназначена для управления операционной системой RTEMS.

Результаты теста «grspw-demo» показаны рис 2. Контроль переданной и принятой информации осу-

ществлялся с помощью DSU-интерфейса. Таким образом, в результате выполнения программы «grspw-demo» удалось осуществить инициализацию ядра grspw, осуществить передачу данных с одного интерфейса SpaceWire на другой.

При выборе открытых IP-блоков для включения в БК в основном предполагалось использовать комплект открытых IP-блоков, входящих в библиотеку GRLIB. Так что выбор элементов для построения типового БК решался изначально. Основной задачей являлся выбор IP-блока для реализации SpaceWire.

Критерии выбора IP-ядра SpaceWire следующие: IP-ядро должно быть бесплатным, свободнораспространяемым; сходное VHDL-описание должно быть открыто и доступно для модификации; документация по IP-ядру должна быть полной и доступной; организация IP-ядра должна обеспечивать максимальную совместимость с имеющейся платформой для разработки.

В результате наложения данных критериев на совокупность доступных IP-ядер было выбрано IP-ядро SpaceWire Light.

Представим результаты моделирования работы IP-блока SpaceWire Light в ModelSim. Конфигурация БК для теста включала процессор LEON3, ОЗУ ahbram, с размещенной программой-тестом «spwamba_test», шину AMBA и IP-ядро SpaceWire Light, замкнутое само на себя. Таким образом, контролировался процесс приемопередачи сигналов. Пример моделирования представлен на рис. 3.

Здесь, например, сигналы spw_si и spw_di – входной стробирующий сигнал и сигнал данных соответственно, а spw_so и spw_do являются выходными сигналами. Сигнал r_sta_link показывает нам автомат состояния блока. Из состояния 00, что означает выключенное устройство, 01 – состояние «started», 10 – «connecting» и, наконец, 11 – «run».

Всего во время проведения данного теста моделировались ситуации передачи пакетов на скоростях 5, 10 и 20 Mbit/s, осуществлялся контроль их корректного приема.

```
This TSIM evaluation version will expire July 1, 2011

TSIM/LEON3 SPARC simulator, version 2.0.18 (evaluation version)

Copyright (C) 2001, Gaisler Research - all rights reserved.
This software may only be used with a valid license.
For latest updates, go to http://www.gaisler.com/
Comments or bug-reports to tsim@gaisler.com

serial port A on stdin/stdout
allocated 4096 K RAM memory, in 1 bank(s)
allocated 32 M SDRAM memory, in 1 bank
allocated 2048 K ROM memory
icache: 1 * 4 kbytes, 16 bytes/line (4 kbytes total)
dcache: 1 * 4 kbytes, 16 bytes/line (4 kbytes total)
tsim> _
```

Рис. 2. Выполнение программы «grspw-demo»

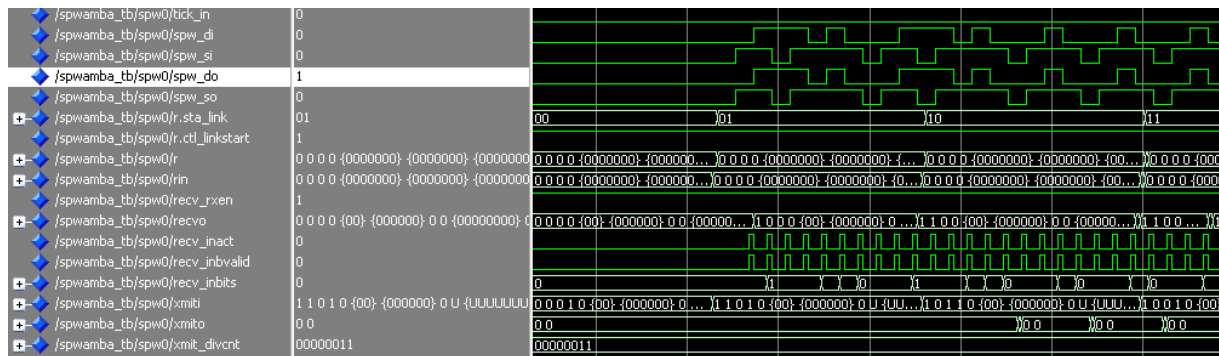


Рис. 3. Пример моделирования SpaceWire Light в ModelSim

Задача моделирования LEON3 – SpaceWire заключалась в подключении IP-ядра SpaceWire Light к шине AMBA, написании собственного SpaceWire-драйвера и создания теста проверки функционирования ядра SpaceWire, включающего, в частности, и физическую передачу данных между двумя SpaceWire-интерфейсами. Средой разработки драйвера и теста являлся Eclipse.

По завершении отладочных приготовлений была произведена загрузка разработанной тестовой программы TestSPW в память БК LEON3 и инициализация выполнения теста. Для проведения теста были использованы два SpaceWire-интерфейса, соединенные между собой соответствующим кабелем. Таким образом, одновременно можно контролировать как передачу, так и прием данных по каналу SpaceWire. Первые строки листинга результатов теста представлены ниже:

```
# ----- SPWDRIVERTEST -----
#
# Found SPWAMBA core 1 at 0x80000400, irq=10.
# Found SPWAMBA core 2 at 0x80000a00, irq=.11
# default APB register values      [OK]
# read/write access to APB registers [OK]
# reset of APB registers           [OK]
# SpaceWire link up                [OK]
# SpaceWire link down             [OK]
...
```

Таким образом, проведенный тест показал следующие результаты: определены оба IP-блока на шине AMBA; управляемо осуществлены инициализация и разрыв соединения; сформированы пакеты данных и отправлены с одного SPW-блока на другой; осуществлен контроль принимаемых и отправляемых пакетов.

Задача аппаратного апробирования проекта БКУ на аппаратной платформе DFPGA-02 на базе ПЛИС Cyclone III фирмы Altera разбивается на две части: моделирование БКУ в программе ModelSim; синтез проекта БК под ПЛИС Altera EP3C25.

Часть листинга результатов моделирования представлена ниже. В нем даны все составные части БК, включенные проект, его основные характеристики (тактовая частота, объем памяти), а также результат выполнения тестовой программы. Все включенные в проект БК IP-блоки из библиотеки GRLIB являются открытыми:

```
# LEON3 Altera EP3C25 SSRAM/DDR Demonstration
design
# GRLIB Version 1.1.0, build 4102
# Target technology: cycloneiii, memory library:
cycloneiii
# ahbctrl: AHB arbiter/multiplexer rev 1
# ahbctrl: Common I/O area at 0xffff0000, 1 Mbyte
# ahbctrl: AHB masters: 2, AHB slaves: 8
# ahbctrl: Configuration area at 0xfffff000, 4 kbyte
# ahbctrl: mst0: Gaisler Research   Leon3 SPARC V8
Processor
# ahbctrl: mst1: Gaisler Research   JTAG Debug Link
# ahbctrl: slv1: Gaisler Research   AHB/APB Bridge
# ahbctrl: memory at 0x80000000, size 1 Mbyte
# ahbctrl: slv6: Gaisler Research   Generic AHB ROM
# ahbctrl: memory at 0x00000000, size 1 Mbyte,
cacheable, prefetch
# ahbctrl: slv7: Gaisler Research   Single-port AHB
SRAM module
# ahbctrl: memory at 0x40000000, size 1 Mbyte,
cacheable, prefetch
...
# leon3_0: LEON3 SPARC V8 processor rev 0
# leon3_0: icache 2*2 kbyte, dcache 2*2 kbyte
# clkgen_cycloneiii: altpII sdram/pci clock generator,
version 1
# clkgen_cycloneiii: Frequency 50000 KHz, PLL scaler
10/10
# MkProm LEON boot loader v2.0
# Copyright Gaisler Research – all right reserved
# system clock : 50.0 MHz
# baud rate : 19171 baud
# prom : 512 K, (2/2) ws (r/w)
# sram : 32 K, 1 bank(s), 0/0 ws (r/w)
#
#
# starting test.exe
# Hello world!
```

Результаты синтеза БК в среде Quartus II приведены на рис. 4. Проект содержит 10 466 логических элементов, т. е. 43 % от ресурсов ПЛИС Altera EP3C25.

Задача аппаратного апробирования IP-ядра SpaceWire Light состояла в перенесении IP-ядра SpaceWire Light на аппаратную платформу Actel ProASIC3 Starter Kit.

Разработан LVDS-интерфейс, адаптированный для IP-ядра SpaceWire Light, само ядро успешно зашито в плату, и проведено предварительное тестирование

функционирования устройства. В частности, были промоделированы и протестированы ситуации установления и поддержания соединения, разрыв и последующее восстановление соединения. В указанных случаях устройство в полной мере обрабатывает описанные стандартом ECSS-E-ST-50-12A функции.

Направление дальнейшей разработки этой ветви проекта предполагает комплексное тестирование SpaceWire, в том числе в связке с коммерческими SpaceWire-устройствами. После осуществления всех доработок и проведения соответствующих испытаний IP-блока полученные данные будут использованы для создания маршрутизирующих коммутаторов и реализации дополнительной функциональности блока (в том числе поддержка протокола удаленного доступа к памяти RMAP).

В результате проведенной работы произведен выбор открытых IP-блоков – кандидатов для включения в БК, разработаны и апробированы на аппаратных отладчиках модели всех основных узлов БК на базе открытых IP-блоков.

В целом можно считать этап моделирования бортового компьютера для малых и сверхмалых космических аппаратов завершенным с положительными ре-

зультатами, позволяющими перейти к разработке его инженерного прототипа.

Библиографические ссылки

1. Космические летательные аппараты. Введение в космическую технику / Ю. Ф. Даниев [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Петренко. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2007.
2. Ханов В. Х., Чекмарев С. А., Шахматов А. В. Разработка процессорного модуля бортовой системы управления космическими аппаратами // Проблемы информационной безопасности государства, общества и личности : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. Томск : В-Спектр, 2010. С. 234–240.
3. LEON3 GR-XC3S-1500 Template Design. Gaisler Research, 2006.
4. SpaceWire Light [Электронный ресурс]. URL: <http://www.opencores.org>.
5. GRLIB IP Core User's Manual Version 1.0.16 / J. Gaisler [et al.]. Gaisler Research, 2009. P. 727.
6. Gaisler J., Habinc S. GR-RASTA Board User Manual, GAISLER RESEARCH // PENDER ELECTRONIC DESIGN. 2009. P. 17.

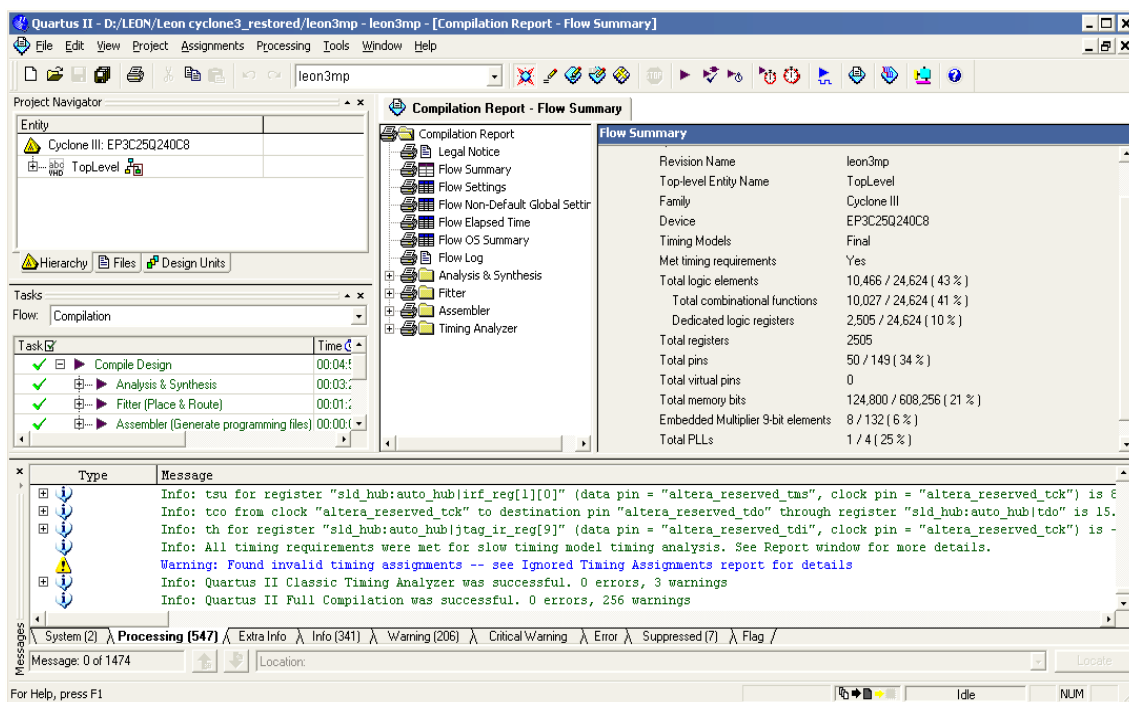


Рис. 4. Проект БК, скомпилированный в среде Quartus II

S. A. Chekmaryov, M. Yu. Vergazov, F. A. Lukin, V. Kh. Khanov, A. V. Shahmatov


SIMULATION OF ONBOARD COMPUTER ON THE BASIS OF OPEN SOURCE IP-CORES FOR SMALL AND ULTRA SMALL SPACE VEHICLES

In this article you will find the results of simulation and testing on the hardware debugging unit of the onboard computer model for small and ultra small space vehicles based on the open source IP-cores.

Keywords: small space vehicles, onboard computing unit, IP-cores, simulation of functional parts.



РАЗДЕЛ
3



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
И МАТЕРИАЛЫ



УДК 669.01:621.78:669.721

Т. А. Богданова, Г. А. Меркулова, А. А. Перебоева, Т. А. Орелкина, А. Ю. Копейкин

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ СПЛАВА СИСТЕМЫ Mg-Zn-Zr
ПЕРЕД ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ**

Изучена структура и фазовый состав сплава ZK60A (отечественный аналог – сплав MA14) системы Mg-Zn-Zr после литья, гомогенизации и деформации с использованием макро- и микроскопического анализов.

Ключевые слова: магниевый сплав, структура, литье, гомогенизационный отжиг, деформация.

Широкое применение деформируемых магниевых сплавов в отраслях промышленности (автомобилестроении, авиации, электронной, компьютерной и бытовой технике) ограничивается, наряду с проблемами цены и общей коррозии, их пониженной пластичностью и деформируемостью. Причиной снижения пластичности является гексагональная плотноупакованная решетка магния, практически с одной базисной системой скольжения, ограничивающей процессы пластической деформации при низких температурах.

Анализ патентно-информационных источников по деформируемости магниевых сплавов не позволяет однозначно определить требуемую структуру сплава ZK60A (отечественный аналог сплав MA14) перед горячей деформацией [1–9]. Цель данной работы – оптимизация структуры исходной литой заготовки сплава ZK60A (система Mg-Zn-Zr) перед объемной горячей деформацией.

В рамках данной работы решались следующие задачи:

- определение оптимальных параметров отжига сплава ZK60A;
- исследование структуры сплава в литом и отожженном состоянии;
- оценка влияния структурного и фазового состава на деформируемость (технологическую пластичность) сплава.

Работа выполнена на образцах магниевого сплава ZK60A в лабораториях кафедры металловедения и термической обработки металлов СФУ, а промышленное испытание режимов горячей деформации проведено на отдельных заготовках в условиях Красноярского металлургического завода. Горячая деформация выполнялась на вертикальных гидравлических прессах с предварительно напряженной станиной усилием 10 000 тс и скоростью деформации $1 \cdot (10^{-1} - 10^{-2}) \text{ с}^{-1}$. Изготовление изделий методом горячей деформации сложной формы предопределяет существенно различающиеся участки изделия, в которых деформация изменяется от 10 до 90 %. Следовательно, исходные заготовки должны быть высокотехнологичными и обеспечивать получение полуфабрикатов требуемой формы практически без анизотропии структуры и свойств.

Сплав ZK60A создан на базе тройной системы Mg-Zn-Zr. Особенностью сплавов этой системы является то, что они не подвергаются закалке с отдельного нагрева, так как в этом случае проходят процессы

рекристаллизации, приводящие к разупрочнению сплавов, поэтому после горячей деформации для этой группы сплавов назначают старение. Параметрами, определяющими технологичность металлических материалов при деформации, являются величина зерна, однородность (гомогенность) структуры, степень рекристаллизации. Как отмечено в работе [1], одним из основных путей создания деформируемых Mg-сплавов и полуфабрикатов из них с повышенной пластичностью является построение диаграмм структурных состояний (ДСС) и карт-структур Mg-сплавов для регламентирования технологических параметров горячей деформации при ковке и штамповке с целью получения требуемого уровня механических свойств. Н. Н. Блохиным и Б. И. Овечиным построены ДСС для образцов Mg-сплавов MA2-1, MA8, MA14 после деформации с учетом исходного состояния – из пресованной, предварительно осажденной и литой заготовки. В работах этих авторов установлено, что структура Mg-сплавов при деформации формируется под действием трех основных факторов: температуры, степени и скорости деформации.

Слитки сплава ZK60A в промышленности получают методом полунепрерывного литья, обеспечивающего получение мелкого зерна [6]. Ультразвуковым методом на входном контроле качества слитков было установлено, что они практически не имеют пористости. В исследуемых литых заготовках макро-структура, наблюдаемая визуально, не имеет дефектов, однородная, размер зерна находится в пределах 80–110 мкм.

Оптимизацию структуры под объемную штамповку проводили на литых заготовках. Структура в литом состоянии гетерогенна (рис. 1), и эта особенность в значительной степени характерна для сплавов системы Mg-Zn-Zr марок ZK60A, MA14. Дендритная ликвация в сплаве приводит к существенным различиям микроструктуры по сечению кристаллов. Цирконий образует с магнием диаграмму перитектического типа с высокотемпературной кристаллизацией твердого раствора на основе циркония, кристаллы которого являются центрами зарождения твердого раствора на основе магния. В структуре литого сплава методом микрорентгеноспектрального анализа выявлено, что при кристаллизации сплава центральные участки дендритов более богаты цирконием, чем периферийные участки (рис. 2).

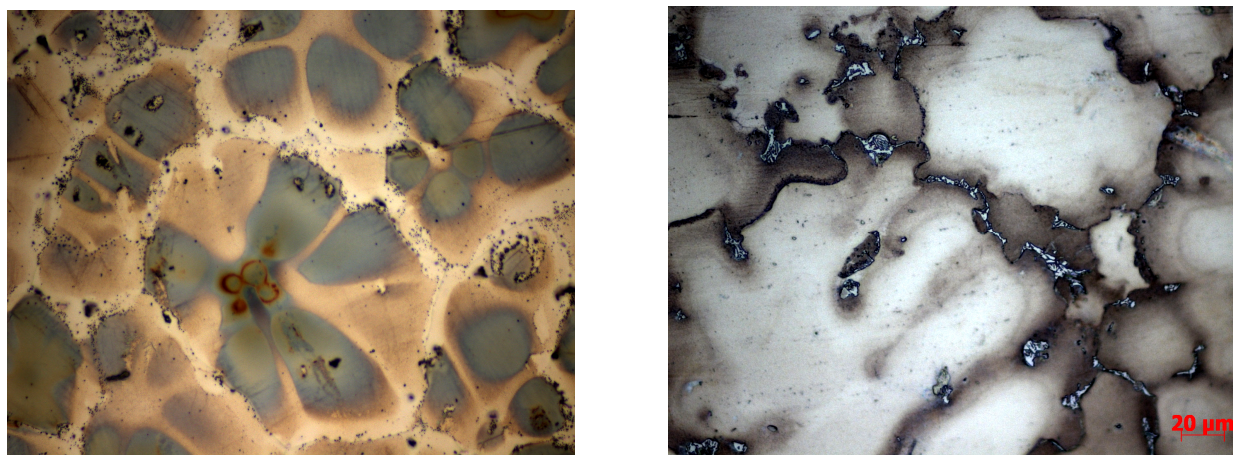
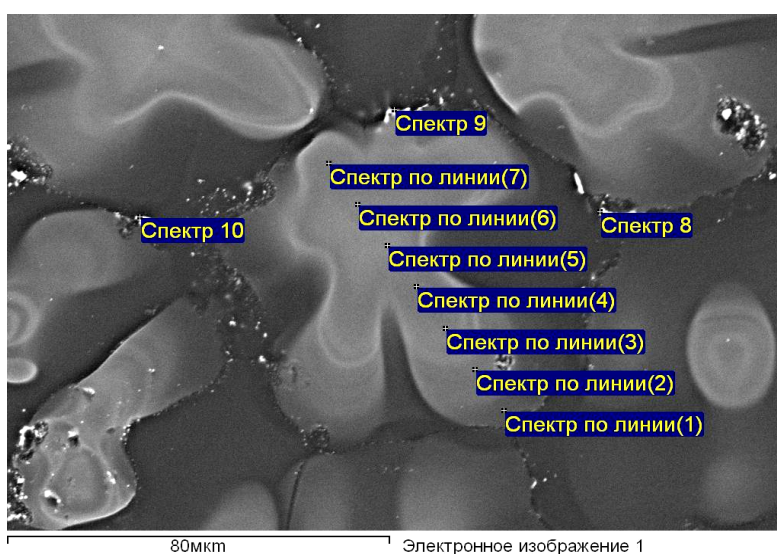


Рис. 1. Микроструктура сплава ZK60A в литом состоянии:
а – $\times 400$; б – $\times 1\,000$



Спектр	O	Mg	Zn	Zr	Итог
Спектр по линии (1)	6.82	85.06	5.91	2.21	100.0
Спектр по линии (2)	9.91	76.23	9.57	4.30	100.0
Спектр по линии (3)	10.63	71.97	10.42	6.97	100.0
Спектр по линии (4)	9.88	74.53	9.27	6.33	100.0
Спектр по линии (5)	10.74	70.46	11.52	7.27	100.0
Спектр по линии (6)	10.37	3.07	10.57	5.97	100.0
Спектр по линии (7)	10.32	73.58	10.67	5.43	100.0
Спектр 8	3.07	65.75	26.10	5.08	100.0
Спектр 9	4.74	82.24	10.80	2.22	100.0
Спектр 10	3.12	64.13	25.48	7.27	100.0

Рис. 2. Микроструктура сплава ZK60A и химический состав по сечению дендрита, вес. %

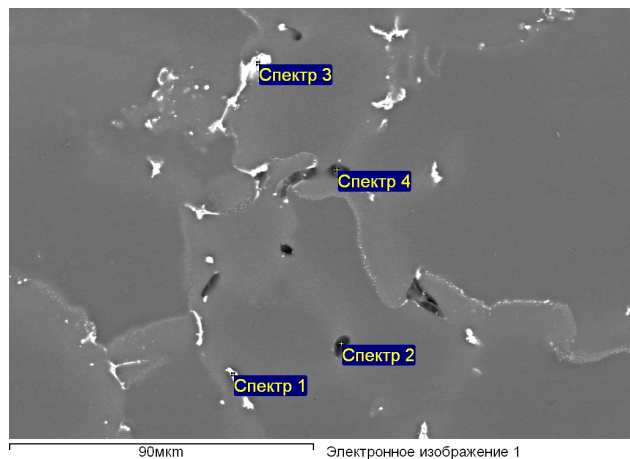
На высокую склонность сплавов системы Mg–Zn–Zr к дендритной ликвации влияют повышенная скорость охлаждения при полунепрерывном литье слитков и низкая скорость диффузии циркония и цинка в магниевом твердом растворе, что приводит к градиенту концентрации легирующих элементов по литому зерну (рис. 2).

В литой структуре сплава ZK60A выявлена химическая неоднородность циркония и цинка по сечению

дендрита. Поэлементный состав различных участков зерна показал, что в периферийных зонах дендрита отсутствует цирконий, растворенный в магниевом твердом растворе.

Известно, что в структуре магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr образуются циркониды цинка $ZnZr$, Zn_2Zr_3 , Zn_2Zr , являющиеся упрочнителями сплавов. Подобные фазы были установлены в работах [3; 4]. Интерметаллидные равновесные и неравновесные фа-

зы в основном выделяются по границам зерен и в периферийной зоне литого зерна (рис. 1, 3). Фаза Mg_2Zn эвтектического происхождения кристаллизуется по границам зерен магниевом твердого раствора и располагается в виде отдельных темных включений. Таким образом, в литом зерне магниевом твердого раствора в результате дендритной ликвации формируются разные области по концентрации циркония и цинка.



Спектр	В стат.	O	Mg	Zn	Zr	Итог
Спектр 1	Да	3.45	18.65	58.75	19.15	100.00
Спектр 2	Да	17.67	73.36	8.96		100.00
Спектр 3	Да	2.44	42.81	53.55	1.21	100.00
Спектр 4	Да	10.40	81.07	8.54		100.00

Рис. 3. Микроструктура и химический состав интерметаллидных включений, вес. %

Такая гетерогенная структура литого слитка является неблагоприятной для горячей обработки давлением и оказывает значительное влияние на процессы при технологических операциях, в том числе и при объемной штамповке. Уменьшение химической неоднородности литой структуры происходит при высокотемпературных нагревах под отжиг-гомогенизацию деформируемых сплавов или закалку литейных сплавов. Продолжительность и температуру гомогенизации выбирают таким образом, чтобы достичь устранения дендритной ликвации за предельно короткий период времени. Традиционно режим гомогенизации выбирается с учетом того, что температура, при которой она проводится, не должна превышать температуру солидуса сплава и составлять $0,90-0,95 T_{пл}$ сплава, в противном случае в микроструктуре возможны проявления процессов перегрева или пережога. В условиях последующей деформации это приведет к образованию трещин, расслоений, и устранение таких дефектов в изделиях будет невозможно.

Из практики термической обработки известно, что отжиг-гомогенизация является длительной операцией, так как она связана с выравнивающей диффузией. Выдержка при гомогенизации зависит от дендритного параметра литой структуры и коэффициента диффузии атомов легирующих компонентов в твердом растворе. В сплаве ZK60A легирующими элементами яв-

ляются цинк и цирконий, скорости диффузии которых в магниевой матрице низкие, особенно циркония из-за его высокой температуры плавления, поэтому процесс гомогенизации данного сплава предполагает длительные выдержки. По экономическим соображениям термическая обработка в производственных условиях должна быть непродолжительной, исключая медленный нагрев и охлаждение, а также длительные выдержки.

На производстве для слитков магниевых сплавов, легированных Zn и Zr, предлагаются двухступенчатые нагревы под гомогенизацию и закалку. В работе [4] с целью ускорения процессов гомогенизации для сплава системы Mg–Zn–Zr предложен двухступенчатый режим отжига-гомогенизации. Первая ступень выполняется при низких температурах, близких к температуре неравновесного солидуса, с целью растворения неравновесной эвтектики. Однако авторы статьи указывают только температуру первой ступени гомогенизации $330-340\text{ }^{\circ}\text{C}$, не называя при этом времени выдержки, а параметры второй ступени вообще не оговариваются.

Кроме отжига-гомогенизации недостатки литой структуры могут быть уменьшены снижением скорости затвердевания, но малые скорости охлаждения приведут к росту литого зерна, что крайне нежелательно для сплава ZK60A, используемого при деформации в литом состоянии.

В данной работе, учитывая рекомендации работы [3], для литых заготовок сплава ZK60A применялся двухступенчатый режим гомогенизации. Первая ступень (рис. 4) включала нагрев до максимально высокой температуры, которой является температура плавления самой легкоплавкой структурной составляющей тройного сплава в неравновесном состоянии и равняется $0,95 T_{пл}$. Время выдержки при данной температуре определялось экспериментально по изменению микроструктуры с исчезновением неравновесных структурных составляющих исследуемого сплава.

Гомогенизация на первой температурной ступени сплава ZK60A позволила растворить в магниевом твердом растворе легкоплавкие эвтектические неравновесные фазы, содержащие цинк – Mg_2Zn , Mg_2Zn_3 , но не обеспечила устранения ликвации по сечению литого зерна (рис. 4, а). Промышленное опробование изготовления изделий горячей деформацией после первой ступени отжига привело к разрушению деформируемых заготовок, что свидетельствует о недостаточной однородности их структуры (рис. 4, б).

Нагрев заготовок из сплава ZK60A на стадии второй ступени гомогенизации проводился при более высоких температурах по сравнению с первой ступенью, что должно сократить общее время гомогенизации. Температура нагрева составляла также $0,95 T_{пл}$ самой легкоплавкой структурной составляющей по равновесной диаграмме Mg–Zn–Zr. Время выдержки на второй ступени определялось по состоянию микроструктуры, в которой наблюдались участки, обедненные по цирконию и цинку (рис. 5, б).

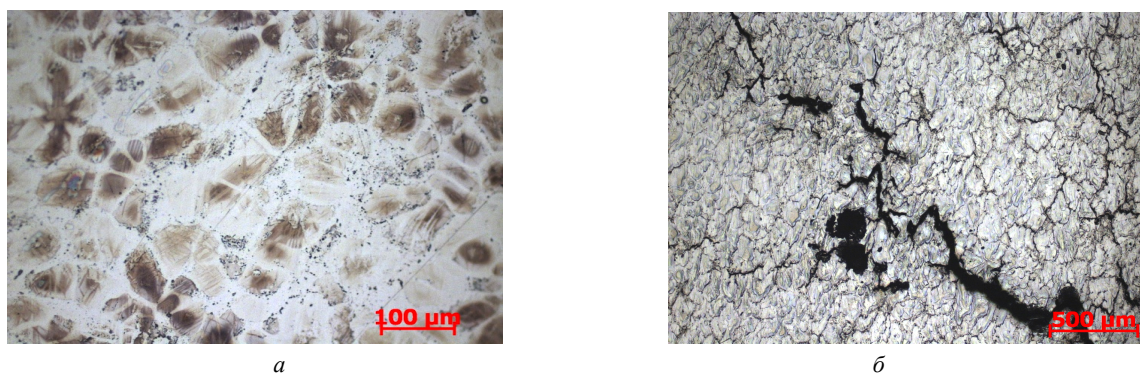
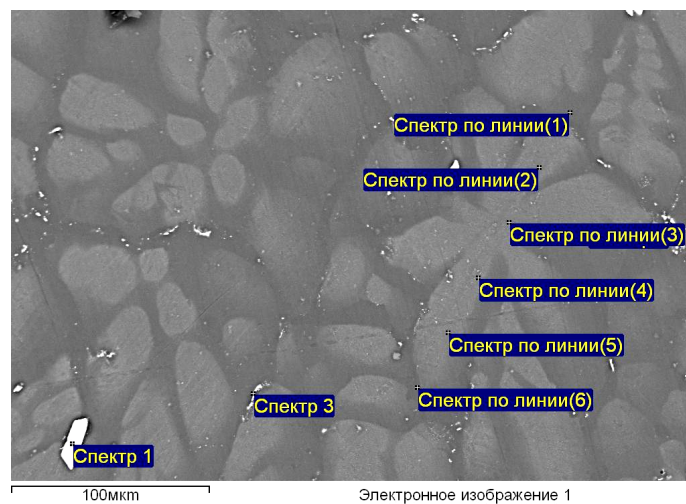


Рис. 4. Микроструктура сплава ZK60A:
a – после первой ступени гомогенизации; *б* – характер разрушения заготовки при горячей деформации



Рис. 5. Микроструктура сплава ZK60A после двухступенчатой гомогенизации:
a – $\times 500$; *б* – $\times 1000$



Спектр	В стат.	O	Mg	Zn	Zr	Итого
Спектр 1	Да		0.90	30.61	68.48	100.0
Спектр 2	Да	2.00	84.27	11.29	2.44	100.0
Спектр 3	Да	1.16	88.94	8.71	1.19	100.0
Спектр по линии (1)	Да	1.11	93.48	5.41		100.0
Спектр по линии (2)	Да	1.61	89.29	7.53	1.58	100.0
Спектр по линии (3)	Да	2.07	89.46	6.84	1.63	100.0
Спектр по линии (4)	Да	1.56	90.20	7.24	0.99	100.0
Спектр по линии (5)	Да	1.77	89.04	7.52	1.73	100.0
Спектр по линии (6)	Да	1.20	93.53	5.27		100.0

Рис. 6. Микроструктура и химический состав сплава ZK60A после двухступенчатой гомогенизации

Исследование микроструктуры сплава после двухступенчатой гомогенизации показало, что контуры дендритов твердого раствора циркония и цинка в магнии размываются с образованием областей разной травимости, что свидетельствует о сохранении ликвации этих элементов после отжига (рис. 5, 6). Так же как и в литой структуре, сохраняются зоны, в которых методом микрорентгеноспектрального анализа не обнаружен цирконий. По границам зерен в микроструктуре наблюдаются включения дисперсных избыточных фаз.

В периферийной области дендритов скопления вторичных фаз декорируют сетку границ субзерен, однородных по химическому составу. Эти гомогенные области, возможно, могут обеспечить повышенную пластичность сплава при последующей деформации (рис. 5, б). Внутри зерен после длительной выдержки на второй ступени все еще видны дендритные ветви, которые образуют «картины лотоса» (рис. 5, а), что свидетельствует об остаточной ликвации (рис. 6).

Подтверждением возможности проведения горячей деформации заготовок с такой структурой послужило получение крупногабаритных изделий сложной формы горячей деформацией без разрушения и образования трещин во всех зонах. Исследование структуры горячедеформированных полуфабрикатов (рис. 7) показало различие структур на периферии (рис. 7, б) и в центре заготовки (рис. 7, а). В центре заготовок дендритные ветви остаются практически без явных следов деформации. На поверхности заготовок дендриты вытягиваются в жгуты (участки, обогащенные цирконием), а на некоторых из них наблюдаются двойники деформации. Каждый такой участок отделен от другого однородными светлыми областями, состоящими из деформированных субзерен с выделениями по ним вторичных фаз (рис. 7, а, б). В результате анализа химического состава «лотоса» в горячедеформированном полуфабрикате определено, что в

центре дендрита сохраняется повышенная концентрация циркония (рис. 8, спектр 4). По мере продвижения к границе деформированного зерна концентрация циркония снижается (рис. 8, спектр 1, 6).

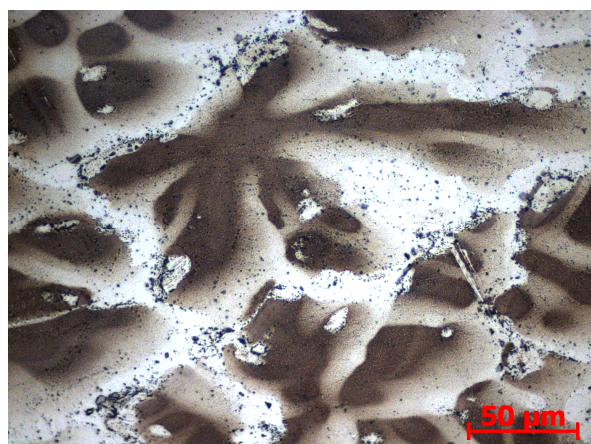
Критериями оценки состояния гомогенности структуры являлись измерения уровня концентраций циркония и цинка. В центре дендрита в литом состоянии содержание циркония равно 7,27 %, а по периферии оно изменяется от 2,21 до 5,43 % (см. рис. 2). После двухступенчатой гомогенизации и нагрева под горячую деформацию содержание циркония в центре равно 3,49 %, а в областях, близких к границе деформированного зерна, – нулю.

В ходе исследования была проведена следующая работа.

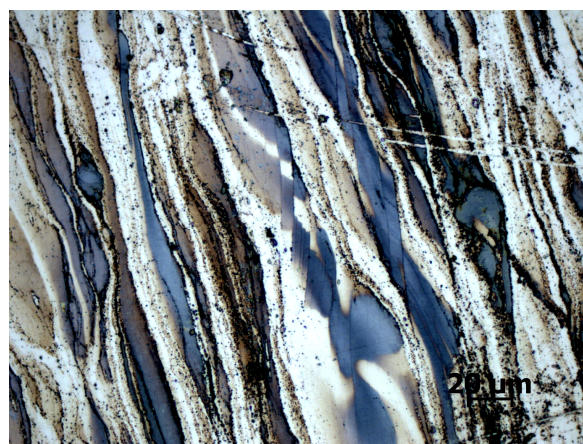
1. Металлографически исследована структура сплава ZK60A в литом и отожженном состояниях. Обнаружено, что структура сплава в литом состоянии гетерогенна: при кристаллизации сплава центральные участки дендритов обогащены цирконием по сравнению с периферийными участками, в которых цирконий отсутствует. Интерметаллидные равновесные и неравновесные фазы в основном выделяются по границам зерен и в периферийной зоне литого зерна. После гомогенизации сохраняется остаточная ликвация.

2. Установлены оптимальные параметры двухступенчатой гомогенизации для получения качественных крупногабаритных полуфабрикатов из сплава ZK60A. В периферийной области дендритов выявлены субзерна, которые имеют однородный химический состав. Эти гомогенные области, вероятно, обеспечивают повышенную пластичность сплава при деформации.

3. После двухступенчатой гомогенизации сплава ZK60A горячей деформацией получены изделия сложной формы без разрушения и образования трещин.

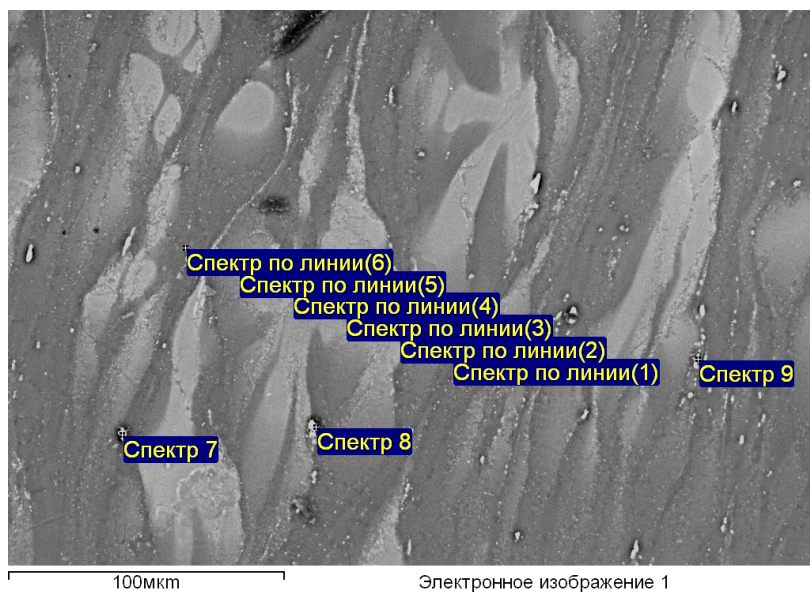


а



б

Рис. 7. Микроструктура горячедеформированной заготовки сплава ZK60A: а – центр; б – периферия



Спектр	O	Mg	Mn	Zn	Zr	Итог
Спектр по линии (1)	1,29	93,62		5,09		100,0
Спектр по линии (2)	1,58	88,97		7,86	1,58	100,0
Спектр по линии (3)	1,7	86,33		9,28	2,74	100,0
Спектр по линии (4)	3,09	85,27		8,14	3,49	100,0
Спектр по линии (5)	2,52	88,15		7,08	2,25	100,0
Спектр по линии (6)	1,25	93,57		5,18		100,0
Спектр 7	7,58	33,50		42,13	16,79	100,0
Спектр 8	3,99	32,25	0,94	42,38	20,45	100,0
Спектр 9	1,36	86,66		10,21	1,77	100,0

Рис. 8. Микроструктура и химический состав горячедеформированной заготовки сплава ZK60A

Библиографические ссылки

1. Ёлкин Ф. М. Основные пути повышения пластичности деформируемых Mg-сплавов // Технология легких сплавов. 2007. № 1. С. 5–17.

2. Metallovedenie magniya i ego spлавов : справочник : в 2 т / под ред. М. Б. Альтмана [и др.]. М. : Metallurgiya, 1978.

3. Волкова Е. Ф., Морозова Г. И. Структура и свойства цирконийсодержащего магниевого сплава MA14 // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallов. 2006. № 3. С. 24–28.

4. Волкова Е. Ф. Влияние деформации и термической обработки на структуру и свойства магниевых сплавов системы Mg–Zn–Zr // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallов. 2006. № 11. С. 38–42.

5. Морозова Г. И. Фазовый состав и коррозионная стойкость магниевых сплавов // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallов. 2008. № 3. С. 8–12.

6. Пат. 2148104 Российская Федерация, МКП⁷ С22F1/06. Способ обработки магниевых сплавов /

Гришечкин А. И., Тетюхин В. В., Сухих А. Ю., Мельников Д. Л., Декун И. И. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение». № 98119789/02 ; заявл. 03.11.98 ; опубл. 27.04.00. URL: www.fips.ru/cdfi/fips.dll.

7. Пат. 2040585 Российская Федерация, МКП⁷ С22F1/06. Способ обработки магниевых сплавов / Бляблин А. А., Волкова Е. Ф., Степанов Ю. А., Романюк Н. П., Комисарова Т. А. ; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т авиационных материалов. № 4947028/02 ; заявл. 21.06.91 ; опубл. 25.07.95. URL: www.fips.ru/cdfi/fips.dll.

8. Мухина И. Ю., Уридия З. П. Структура и свойства новых литейных магниевых сплавов // Современные проблемы металловедения сплавов цветных металлов. М. : МИСиС, 2009. С. 32–36.

9. Волкова Е. Ф., Морозова Г. И. Роль водорода в деформируемых магниевых сплавах системы Mg–Zn–Zr–P3M // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallов. 2008. № 3(33). С. 13–16.

T. A. Bogdanova, G. A. Merkulova, **A. A. Pereboeva**, T. A. Orelkina, A. Yu. Kopeikin

OPTIMIZATION OF CAST STRUCTURE OF ALLOY OF Mg–Zn–Zr SYSTEM BEFORE HOT DEFORMATION

The article presents studies of the structure and phase composition of ZK60A alloy (Russian analogue of alloy MA14) of Mg–Zn–Zr system after casting, homogenization and deformation with the use of macro- and microscopical analyses.

Keywords: magnesium alloy, structure, casting, homogenizational annealing, deformation.

© Богданова Т. А., Меркулова Г. А., **Перебоева А. А.**, Орелкина Т. А., Копейкин А. Ю., 2011

УДК 621.892

Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Н. Н. Малышева, С. Б. Ковальский, Е. Г. Мальцева

ИЗМЕНЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ ШХ15 ПРИ ТЕРМОСТАТИРОВАНИИ ЕЕ В СРЕДЕ МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА М10-Г_{2к}

Приведены результаты исследования изменения износостойкости стали ШХ15 при ее термостатировании в среде минерального моторного масла М10-Г_{2к} и механохимические процессы при граничном трении скольжения.

Ключевые слова: термостатирование смазочного масла, относительный износ, показатель противоизносных свойств, ток фрикционного контакта, пластическая и упругопластическая деформация, диаметр пятна износа, покрытие.

Подшипники качения работают как в жидких смазочных материалах различного назначения, так и в пластичных смазках. Выбор подшипников основан на расчетах долговечности, условной нагрузки, коэффициента работоспособности и расчетной грузоподъемности [1–3]. Недостаточно изучены механохимические процессы, протекающие в контакте тел качения, и влияние температуры на эти процессы.

Цель работы – исследовать влияние температуры на противоизносные свойства смазочного масла, износостойкость подшипниковой стали ШХ15 и механохимические процессы при граничном трении скольжения.

Методика исследования. При работе подшипников качения на поверхностях трения реализуются процессы самоорганизации [4–6] как защитная функция от избыточной тепловой энергии. При этом на поверхности трения образуются вторичные структуры, а в смазочном материале под влиянием механохимических, тепловых и химических процессов происходит деструкция базовой основы и присадок, а также его окисление, т. е. происходит обмен лигандов между металлом и смазочным маслом. Для исследования механизма самоорганизации методика практически исключала окислительные процессы и моделировала процессы самоорганизации путем термостатирования обоймы подшипника в смазочном масле. При этом на поверхности обоймы образовались химические соединения, а в смазочном материале протекали процессы деструкции. Испытания обоймы с покрытием и без него в термостатированном масле позволили выявить влияние деструкции масла на его противоиз-

носные свойства и изменение износостойкости стали при наличии на ее поверхности комплексных химических соединений (покрытий).

Исследования проводились на приборе для определения температурной стойкости смазочных материалов в диапазоне температуры от 140 до 240 °С. Температурная стойкость оценивалась по изменению коэффициентов поглощения светового потока, вязкости и летучести. Для этого проба масла массой 100 г испытывалась при температурах от 140 до 240 °С в течение 7 ч при атмосферном давлении, температура масла в процессе испытания поддерживалась автоматически терморегулятором ТР101 с точностью ±1 °С. В качестве датчика использовалась термопара «хромель–капель».

Для оценки противоизносных свойств термостатированных масел они испытывались на трехшариковой машине трения со схемой трения «шар–цилиндр» [7]. Причем через один из шариков при изнашивании пропускался постоянный ток (100 мкА) от стабилизированного источника питания (3В) для исследования механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте [8]. В качестве испытательных образцов применялись шары диаметром 9,5 мм от подшипника № 204 и верхняя обойма роликоподшипника 7208 диаметром 80 мм. Параметры трения следующие: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, температура испытания 80 ± 0,1 °С.

Влияние продуктов деструкции на износостойкость стали ШХ15 оценивалось сопоставлением результатов износа двух обойм подшипника, одна из которых термостатировалась в масле для получения по-

крытия. Обе обоймы испытывались в термостатированном масле. Износостойкость сталей оценивались по диаметру пятна износа и величине тока, протекающего через фрикционный контакт [9].

Результаты исследований и их обсуждение. Для определения стали испытания на машине трения проводились с обоймой без покрытия и с покрытием (табл. 1). Установлено, что износостойкость стали с покрытием уменьшается. Для оценки влияния покрытия на износостойкость стали предложен коэффициент относительного износа $K_{ОИ}$ определяемый отношением

$$K_{ОИ} = I/I_{п}, \quad (1)$$

где I – износ при испытании обоймы без покрытия в термостатированном масле; $I_{п}$ – износ при испытании обоймы с покрытием в термостатированном масле.

Зависимость коэффициента относительного износа от температуры испытания представлена на рис. 1, а. Установлено, что при температуре испытания 140 °С

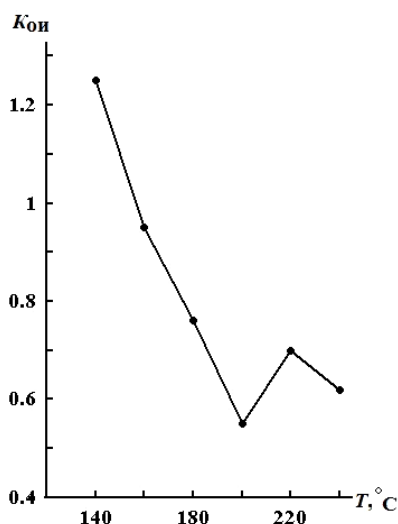
износ обоймы с покрытием меньше износа обоймы без покрытия. Зависимость $K_{ОИ} = f(T)$ линейно уменьшается до температуры испытания 200 °С, а при температурах 220 и 240 °С значение коэффициента $K_{ОИ}$ колеблется, т. е. можно полагать, что предельной температурой работоспособности стали ШХ15 является температура 160 °С, так как при ней коэффициент $K_{ОИ}$ равен единице, т. е. $U = U_{п}$.

Влияние продуктов деструкции, образующихся при термостатировании минерального масла, исследовалось зависимостью коэффициента относительного износа $K_{ОИ}$ от коэффициента поглощения светового потока $K_{П}$ (рис. 1, б). С увеличением коэффициента $K_{П}$ до значения 0,3 ед. коэффициент относительного износа $K_{ОИ}$ уменьшается за счет увеличения обоймы с покрытием. При значениях коэффициента $K_{П}$ от 0,3 до 0,7 ед. коэффициент $K_{ОИ}$ изменяется незначительно, т. е. противоизносные свойства масла практически не зависят от наличия покрытия на поверхности обоймы.

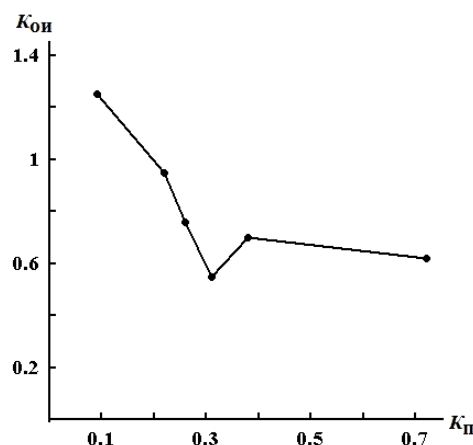
Таблица 1

Результаты исследования термостатирования минерального масла М10-Г_{2к} и износостойкости стали ШХ15

Температура испытания, °С	Коэффициент поглощения светового потока, $K_{П}$	Износ стали ШХ15		Удельная плотность продуктов деструкции		Коэффициент относительного износа	Коэффициент относительной удельной плотности
		без покрытия	с покрытием	без покрытия $K_{П}/S_1$	с покрытием $K_{П}/S_2$		
140	0,09	00,33	0,27	1,06	1,58	1,25	0,67
160	0,22	0,27	0,29	3,86	3,33	0,95	1,16
180	0,26	0,34	0,45	2,86	1,64	0,76	1,74
200	0,31	0,26	0,47	5,85	1,79	0,55	3,27
220	0,387	0,32	0,45	4,75	2,39	0,70	1,99
240	0,72	0,33	0,54	8,47	3,14	0,62	2,7



а



б

Рис. 1. Зависимость коэффициента относительного износа $K_{ОИ}$ стали ШХ15: а – от температуры испытания минерального масла М10-Г_{2к}; б – от коэффициента поглощения светового потока

На основании изложенного (рис. 1) предложен показатель Π_d , названный показателем удельной плотности продуктов деструкции на площади фрикционного контакта, определяемый отношением:

$$\Pi_d = K_{\Pi} / S, \quad (2)$$

где K_{Π} – коэффициент поглощения светового потока при термостатировании минерального масла; S – площадь пятна износа обоймы с покрытием и без покрытия.

Зависимость данного показателя представлена на рис. 2, из которого видно, что при испытании обоймы с покрытием в термостатированном масле удельная плотность продуктов деструкции (кривая 2) увеличивается с ростом температуры испытания от 180 до 240 °С, иная тенденция наблюдается при испытании обоймы без покрытия в термостатированном масле (кривая 1). В диапазоне температур от 140 до 240 °С наблюдаются колебания показателя Π_d за счет колебания диаметра пятна износа.

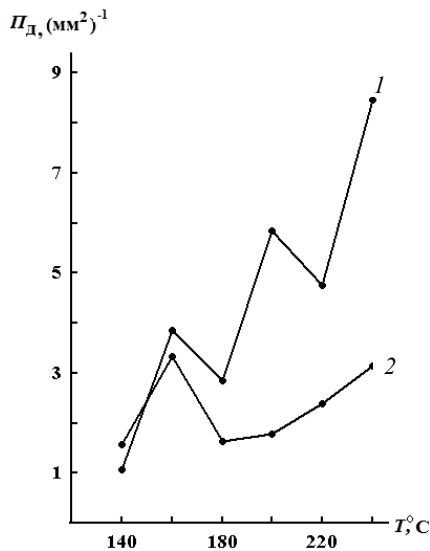


Рис. 2. Зависимость удельной плотности продуктов деструкции на площади фрикционного контакта от температуры испытания минерального моторного масла М10-Г_{2К}: 1 – обойма без покрытия; 2 – обойма с покрытием

Однако удельная плотность продуктов деструкции базовой основы и присадок на фрикционном контакте выше при испытании обоймы без покрытия, чем при испытании ее с покрытием за счет меньшей площади контакта, что видно из зависимости относительной удельной плотности продуктов деструкции (рис. 3), определяемой коэффициентом $K_{отн}$:

$$K_{отн} = \Pi_{д1} / \Pi_{д2}, \quad (3)$$

где $\Pi_{д1}$ и $\Pi_{д2}$ – соответственно, показатели удельной плотности продуктов деструкции при испытании обоймы без покрытия и с покрытием.

Согласно данным (рис. 3), коэффициент относительной удельной плотности продуктов деструкции минерального масла М10-Г_{2К} увеличивается до тем-

пературы 200 °С за счет увеличения показателя $\Pi_{д1}$, а колебания коэффициента $K_{отн}$ вызваны неоднозначным влиянием концентрации продуктов деструкции на износ обоймы с покрытием.

Относительная удельная плотность продуктов деструкции одинакова при испытании обойм без покрытия и с покрытием при температуре менее 160 °С ($K_{отн} \approx 1,0$), поэтому температура работоспособности подшипниковой стали не должна превышать это значение.

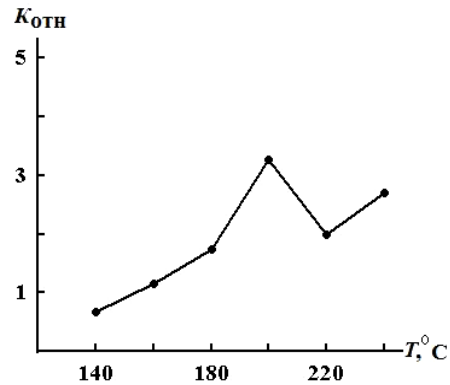


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной удельной плотности продуктов деструкции от температуры испытания

При схеме трения «шар–цилиндр» диаметр пятна износа зависит от параметров трения и противоизносных свойств смазочного материала. Процессы, протекающие на фрикционном контакте, исследовались электрометрическим методом. Диаметр пятна износа зависит от продолжительности пластической деформации, при которой формируется площадь контакта, и упругопластической, при которой на площади контакта образуются защитные граничные слои, поэтому величина тока, протекающего через фрикционный контакт, будет зависеть от вида деформации. При пластической деформации ток равен заданному (100 мкА), а при упругопластической – его величина зависит от скорости формирования защитных слоев, представляющих химические соединения продуктов деструкции с металлом. Диаграммы записи тока представлены на рис. 4, а результаты исследования износостойкости стали ШХ15 приведены в табл. 2.

На диаграммах записи тока видны участки, где ток максимальный и равен 100 мкА, и участки, где ток либо уменьшается до нуля, либо устанавливается на определенной величине. В процессе трения ток колеблется в определенном диапазоне, а амплитуда колебаний зависит от прочности защитного граничного слоя.

Для характеристики механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте, принят коэффициент электропроводности фрикционного контакта $K_э$ определяемый отношением тока фрикционного контакта к заданному току (100 мкА).

Результаты износостойкости стали ШХ15 при термостатировании минерального моторного масла М10-Г_{2К}

Температура испытания °С	Время общей деформации $t_{д}$, мин		Диаметр пятна износа, мм		Коэффициент электропроводности $K_Э$		Критерий противозносных свойств масла $П_К$	
	без покрытия	с покрытием	без покрытия	с покрытием	без покрытия	с покрытием	без покрытия	с покрытием
140	14,2	23,6	0,3	0,26	0,50	0,05	7,1	1,3
160	28,3	14,3	0,28	0,26	0,20	0,10	5,7	1,4
180	38,5	33,3	0,36	0,44	0,35	0,50	13,5	16,7
200	9,3	31,5	0,24	0,46	0,15	0,55	1,4	17,3
220	36,9	15,0	0,3	0,38	0,20	0,60	7,4	9
240	23,1	35,8	0,3	0,48	0,30	0,65	6,9	23,3

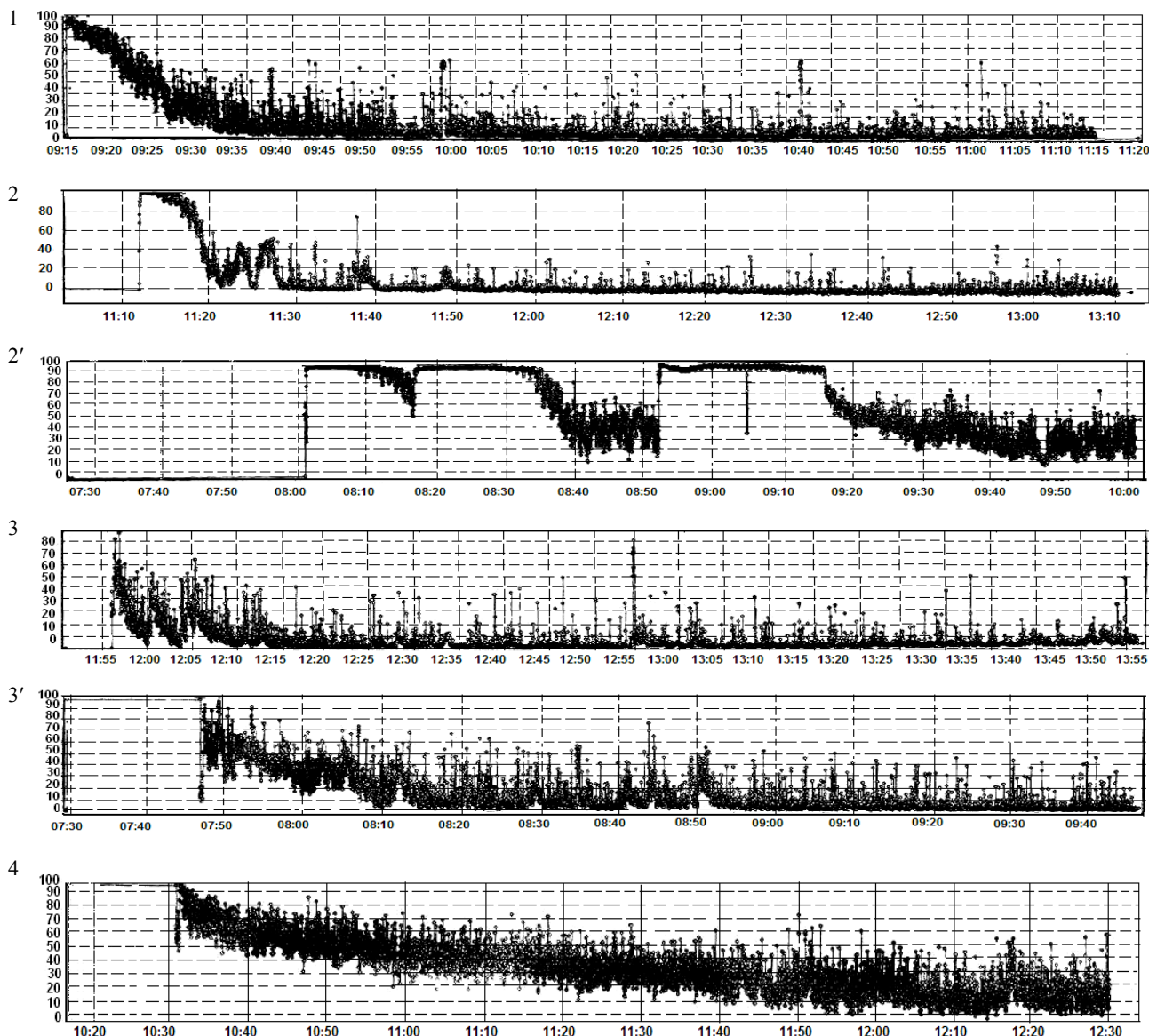


Рис. 4. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт при испытании минерального масла М10-Г_{2К} (начало)

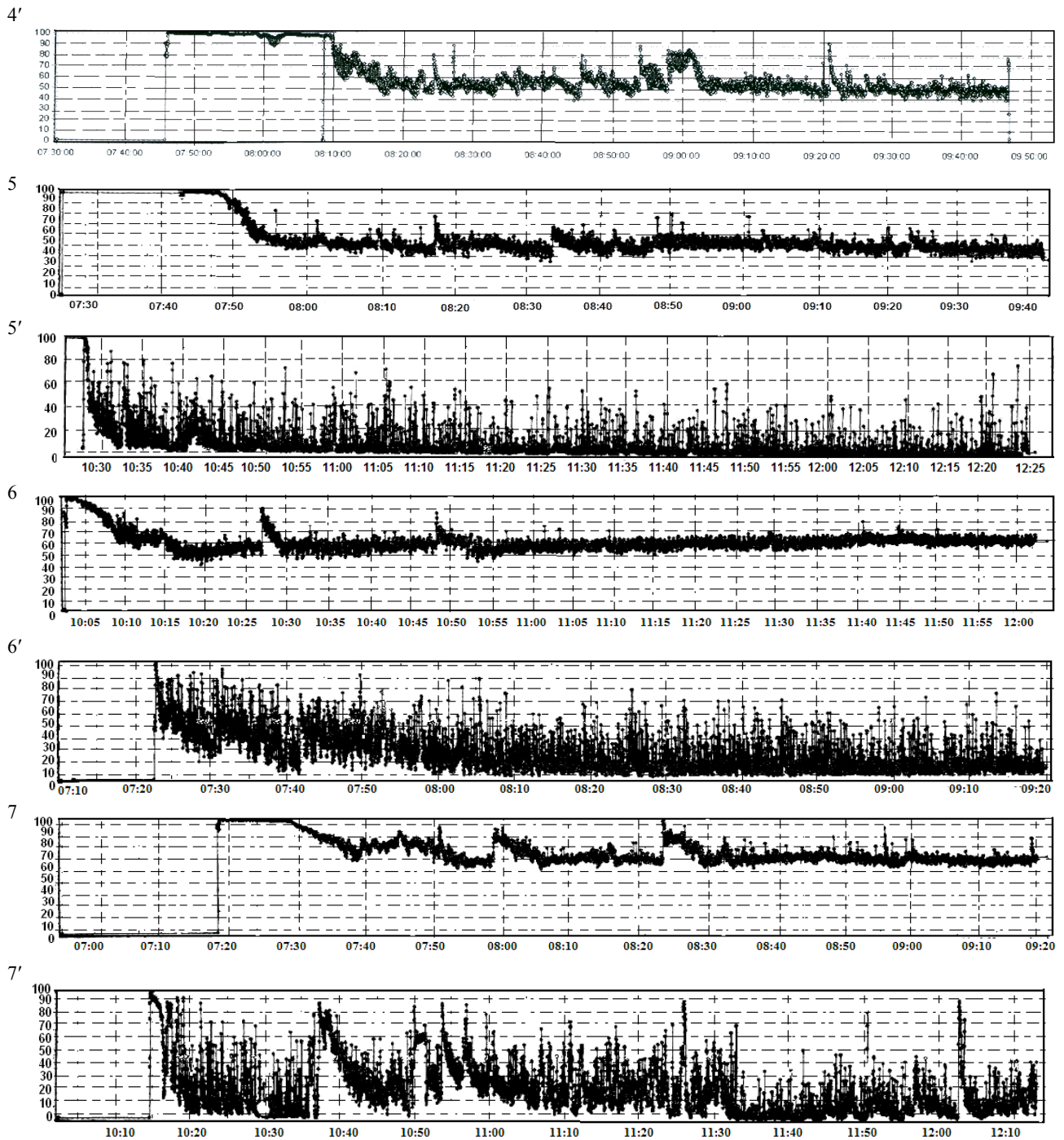


Рис. 4. Диаграммы записи тока, протекающего через фрикционный контакт при испытании минерального масла М10-Г_{2К} (окончание):
 1 – при температуре 180 °С; 2, 2' – 140 °С; 3, 3' – 160 °С; 4, 4' – 180 °С; 5, 5' – 200 °С; 6, 6' – 220 °С; 7, 7' – 240 °С;
 цифры без штриха – испытание обоймы с покрытием; цифры со штрихом – без покрытия

Анализ диаграмм показал, что четкой зависимости коэффициента электропроводности от температуры испытания и наличия покрытия на обойме не наблюдается. При температурах термостатирования масла 140 и 160 °С (диаграммы 2 и 3) коэффициент электропроводности K_3 при испытании обоймы с покрытием значительно меньше, чем без покрытия (диаграммы 2' и 3'). Дальнейшее повышение температуры термостатирования масла вызывает увеличение коэффициента K_3

при испытании обоймы с покрытием и более интенсивный износ (см. табл. 2). Для учета влияния коэффициента K_3 на величину износа предложен комплексный показатель Π_K противоизносных свойств, учитывающий продолжительность деформаций и значение коэффициента, определяемого выражением

$$\Pi_K = t_d \cdot K_3, \quad (4)$$

где t_d – суммарное время деформаций; K_3 – коэффициент электропроводности.

Зависимость диаметра пятна износа от комплексного показателя противоизносных свойств термостатированных масел представлена на рис. 5. Для обоймы без покрытия установлена линейная зависимость (кривая 1), для обоймы с покрытием – кусочно-линейная (кривая 2), при этом износ обоймы с покрытием на 15 % выше, чем без покрытия, и объясняется большими значениями коэффициента K_3 электропроводности фрикционного контакта при испытании обоймы с покрытием (рис. 6).

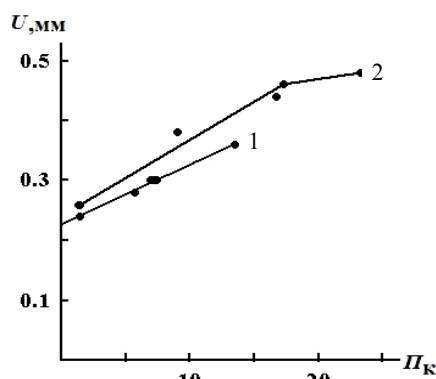


Рис. 5. Зависимость диаметра пятна износа от комплексного показателя противоизносных свойств термостатированного минерального моторного масла М10-Г_{2К}:
1 – обойма без покрытия; 2 – обойма с покрытием

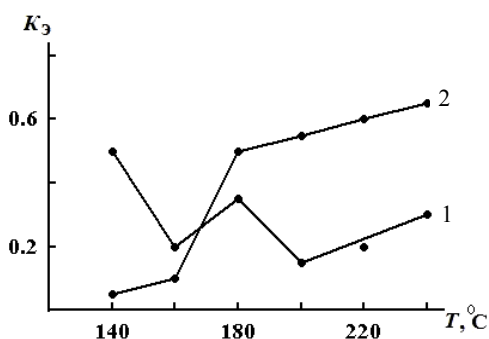


Рис. 6. Зависимость коэффициента электропроводности фрикционного контакта от температуры испытания (условные обозначения см. на рис. 5)

Коэффициент электропроводности K_3 фрикционного контакта при испытании обоймы без покрытия (кривая 1) в термостатированном масле не имеет четкой зависимости от температуры испытания и изменяется от 0,15 до 0,5 ед. При испытании обоймы с покрытием (кривая 2) коэффициент K_3 имеет малые значения при температурах 140 и 160 °С, а при температуре 180 °С наблюдается резкое его увеличение с последующим линейным изменением в диапазоне температур от 180 до 240 °С. Такое изменение коэффициента K_3 подтверждает предельный температурный диапазон работоспособности стали ШХ15 до 160 °С.

Результаты испытания стали ШХ15 без покрытия в термостатированном масле в диапазоне температур от 140 до 240 °С показывают, что ток фрикционного контакта подвержен большим колебаниям, что указывает на неудовлетворительную прочность образующихся защитных граничных слоев. При изнашивании обоймы с покрытием колебания тока уменьшаются, но величина его значительно больше по сравнению с обоймой без покрытия. Поскольку обе обоймы испытывались в одном и том же масле, то влияние на величину тока при испытании обоймы с покрытием должно оказывать следующее покрытие: комплексное химическое соединение стали с компонентами деструкции. Увеличение колебаний тока при испытании обоймы без покрытия вызвано наличием в масле комплексных химических соединений, что подтверждается результатами исследования обоймы без покрытия в товарном нетермостатированном масле (см. диаграмму 1, рис. 4).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. На основе проведенных исследований установлено, что износостойкость стали ШХ15 с покрытием падает в температурном диапазоне от 180 до 240 °С. Предельной температурой работоспособности подшипниковой стали является температура 160 °С.

2. При повышении температуры в подшипниковом узле процессы самоорганизации протекают на поверхности трения за счет взаимодействия стали ШХ15 с продуктами деструкции и образования комплексных химических соединений, постепенно отслаиваемых от поверхности, попадающих в объем смазочного материала и изменяющих его оптические свойства.

3. Предложенный электрометрический метод исследования механохимических процессов при граничном трении скольжения позволяет количественно оценить интенсивность изнашивания по значению тока, протекающего через фрикционный контакт, определить продолжительность пластической, упруго-пластической и упругой деформаций.

4. Предложен комплексный критерий оценки противоизносных свойств смазочных масел, определяемый произведением суммарной деформации на величину коэффициента электропроводности фрикционного контакта, имеющий линейную зависимость с величиной износа, что позволяет применять его в качестве диагностического параметра при оценке процессов самоорганизации.

Библиографические ссылки

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1968.
2. ГОСТ 18855–94 (ИСО 281–89) Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (долговечность). М. : Изд-во стандартов, 1994.
3. Ковальский Б. И., Кропачев А. В. Устройство для испытания подшипников качения // Транспортные средства Сибири : межвуз. сб. науч. тр. с меж-

дунар. участием. Вып. 6. Красноярск : КГТУ, 2000. С. 255–261.

4. Самоорганизация вторичных структур при трении / И. С. Гершман [и др.] // Трение и износ. 2003. Т. 23, № 3. С. 329–334.

5. Гершман И. С., Буше Н. А. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах // Трение и износ. 1995. Т. 16, № 1. С. 61–70.

6. Молекулярные механизмы самоорганизации при трении / А. С. Кужаров [и др.] // Трение и износ. 2002. Т. 23. № 6. С. 645–651.

7. А. с. 983522 СССР, МКИ³ G 01 № 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б. И. Ковальский, М. Е. Грибанов. Оpubл. 23.12.82, Бюл. № 47.

8. А. с. 1054732 СССР, МКИ³ G 01 № 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, Г. М. Сорокин, А. П. Ефремов. Оpubл. 15.11.83, Бюл. № 42.

9. Пат. 2186386 РФ, МКИ³ G 01 № 33/30, 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский, Д. Г. Барков. Оpubл. 27.07.2002, Бюл. № 21.

B. I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, N. N. Malysheva, S. B. Kovalsky, E. G. Maltseva

CHANGE OF WEAR RESISTANCE OF STEEL ШХ15 AT IT'S TEMPERATURE CONTROL IN ENVIRONMENT OF MINERAL OIL M10-Г_{2К}

The article presents results of research of change of wear resistance of ШХ15 at it's temperature control in environment of mineral engine oil M10-Г_{2К} and mechanic-chemical processes at a boundary sliding friction.

Keywords: temperature control lubricant oil, relative deterioration, an indicator of antiwear properties, a current of frictional contact, plastic and elasto-plastic deformations, diameter of a stain of deterioration, a covering.

© Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Малышева Н. Н., Ковальский С. Б., Мальцева Е. Г., 2011

УДК 621.895

Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, А. В. Кузьменко, Ю. Ф. Кайзер

ВЛИЯНИЕ ТОКА, ПРОПУСКАЕМОГО ЧЕРЕЗ ФРИКЦИОННЫЙ КОНТАКТ, НА ПРОТИВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО АВИАЦИОННОГО МАСЛА ВНИИИП 50-1-4ф

Представлен метод определения влияния постоянного тока, пропускаемого через фрикционный контакт, на противоизносные свойства авиационного моторного синтетического масла ВНИИИП 50-1-4ф. Предложен критерий оценки механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте.

Ключевые слова: механохимические процессы, термоокислительная стабильность, процессы самоорганизации, пластическая и упругопластическая деформации, хемосорбционный граничный слой.

Процессы самоорганизации трибосистемы при граничном трении определяются сопротивлением ее элементов температурным, механическим и химическим воздействиям путем создания на поверхностях трения защитных слоев, причем влияние смазочного материала в этих процессах является основным. Влияние смазочного материала определяется интенсивностью сорбционных процессов, протекающих на площади контакта, которая зависит от химической активности присадок и продуктов окисления, а также их концентрации, изменяющейся в процессе эксплуатации газотурбинных двигателей.

Целью настоящей работы является исследование возможности повышения активности сорбционных процессов за счет пропуска тока через фрикционный контакт от внешнего стабилизированного источника питания.

Исследования проводились на трехшариковой машине трения со схемой трения «шар–цилиндр» [1],

причем каждый из трех шаров взаимодействовал с цилиндром по индивидуальной дорожке трения. В качестве образцов были выбраны: шар (подшипник № 1210) диаметром 9,5 мм и верхняя обойма роликового подшипника № 30208 диаметром 80 мм. Оба образца изготовлены из стали ШХ15. Режимы трения были выбраны постоянными и составили: нагрузка – 13 Н, скорость скольжения – 0,68 м/с, температура масла – 80 °С, время испытания – 2 ч.

Каждый держатель шаров был электроизолирован друг от друга, а к одному из них подводился постоянный ток (100 мкА) от стабилизированного источника питания напряжением 3 В. Величина тока, протекающего через фрикционный контакт, преобразовывалась преобразователем RS-485 и регистрировалась на компьютере. Температура испытуемого масла задавалась дискретно и поддерживалась автоматически с помощью терморегулятора TP101 с точностью ± 0,5 °С. Машина трения выполнена с возможностью измене-

ния полярности тока, протекающего через фрикционный контакт, что позволило выявить влияние полярности тока на формирование защитных пленок на поверхностях либо шара, либо обоймы и изменение противоизносных свойств испытываемого масла.

Противоизносные свойства смазочного материала оценивались по диаметру пятна износа на шаре и коэффициенту электропроводности фрикционного контакта [2]. Величина тока при трении зависит от интенсивности механохимических процессов на фрикционном контакте, определяющих продолжительность формирования площади контакта и защитных граничных пленок на поверхностях трения. Коэффициент электропроводности фрикционного контакта K_{Π} определяется отношением тока, протекающего через фрикционный контакт, к заданной величине тока (100 мкА) при статическом состоянии образцов [3].

Для испытания было выбрано авиационное синтетическое дизельное масло ВНИИ НП 50-1-4ф с присадками, повышающими противоизносные свойства и термоокислительную стабильность. Данное масло применяют в газотурбинных двигателях с температурой на выходе до 175 °С. Для определения влияния степени окисления масла на его противоизносные свойства оно подвергалось окислению при температуре 190 °С. Степень окисления масла оценивалась коэффициентом поглощения светового потока K_{Π} при фотометрировании.

Окисленное масло испытывалось на машине трения дважды, при положительном и отрицательном потенциалах на шаре. Результаты исследования представлены на рис. 1. Установлено, что при положительном потенциале на шаре (кривая 1) противоизносные свойства окисленного масла выше, чем при отрицательном потенциале (кривая 2). При положительном потенциале на шаре противоизносные свойства ухудшаются при увеличении коэффициента поглощения светового потока до значения $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. При дальнейшем окислении масла (увеличении коэффициента K_{Π}) противоизносные свойства улучшаются, и при $K_{\Pi} > 0,6$ ед. они стабилизируются.

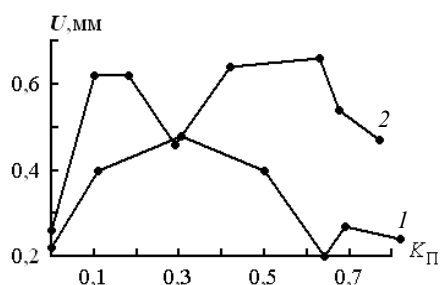


Рис. 1. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического авиационного масла ВНИИ НП 50-1-4ф:

1 – положительный потенциал на шаре; 2 – отрицательный потенциал на шаре

Можно полагать, что при $K_{\Pi} > 0,3$ ед. образуется достаточная концентрация кислых продуктов окисле-

ния, способная образовывать на поверхности трения защитные пленки, уменьшающие продолжительность пластической и упругопластической деформации, а значит и износ. Это подтверждается диаграммами записи тока, протекающего через фрикционный контакт (рис. 2 и 3), которые имеют три четко выраженные области. Первая область, где ток, протекающий через фрикционный контакт, максимальный в результате металлического контакта поверхностей трения. В этот период формируется площадь контакта за счет пластической деформации.

Вторая область характеризуется уменьшением тока до определенной величины за счет образования на поверхностях трения защитных пленок, увеличивающих электрическое сопротивление фрикционного контакта. В этот период пластическая деформация переходит в упругую.

Третья область характеризует установившееся изнашивание, при котором происходит формирование и разрушение на поверхностях трения защитных пленок, и в этой области реализуются в основном упругие деформации. Применение электрометрического метода позволяет установить продолжительность пластических, упругопластических и упругих деформаций.

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2, рис. 1) с увеличением концентрации продуктов окисления (K_{Π}) до значения $K_{\Pi} \approx 0,2$ ед. противоизносные свойства синтетического масла ВНИИ НП 50-1-4ф снижаются и износ увеличивается до значений 0,62 мм. При значениях $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. они повышаются, при увеличении K_{Π} до значений 0,6 ед. противоизносные свойства понижаются, а при $K_{\Pi} > 0,6$ ед. они повышаются. Снижение противоизносных свойств синтетического масла при отрицательном потенциале на шаре объясняется тем, что защитные пленки в данном случае формируются на поверхности обоймы, площадь контакта которой значительно превышает площадь контакта шара, поэтому влияние защитных пленок снижается, а износ увеличивается. Это подтверждается диаграммами записи тока, протекающего через фрикционный контакт (рис. 2 и 3). При отрицательном потенциале на шаре в контакте реализуются упругопластические деформации (рис. 4).

В результате исследования влияния полярности тока, протекающего через фрикционный контакт, выявлено, что существует определенная концентрация продуктов окисления ($K_{\Pi} \approx 0,3$ ед.), при которой полярность тока практически не влияет на величину износа (см. рис. 1). В этой связи представляют научный интерес исследования влияния постоянного тока на параметры износа окисленных масел.

В ходе исследования влияния тока на параметры износа при положительном потенциале на шаре (кривая 1) и при отсутствии тока в контакте (кривая 1') (рис. 4, а) установлено, что положительный потенциал на шаре повышает противоизносные свойства смазочного материала от 10 до 50 % независимо от концентрации продуктов окисления.

При отрицательном потенциале на шаре наблюдается иная тенденция изменения противоизносных свойств (рис. 4, б). Они повышаются при отсутствии потенциала на шарах (кривая 2'), причем, чем больше концентрация продуктов окисления в масле, тем выше противоизносные свойства масла, испытанного без приложения потенциала.

Приложение положительного потенциала к поверхности трения меньшей площадью повышает поверхностную энергию, ускоряет сорбционные процессы и образование химических соединений на поверхности трения, что подтверждается диаграммами записи тока, протекающего через фрикционный контакт.

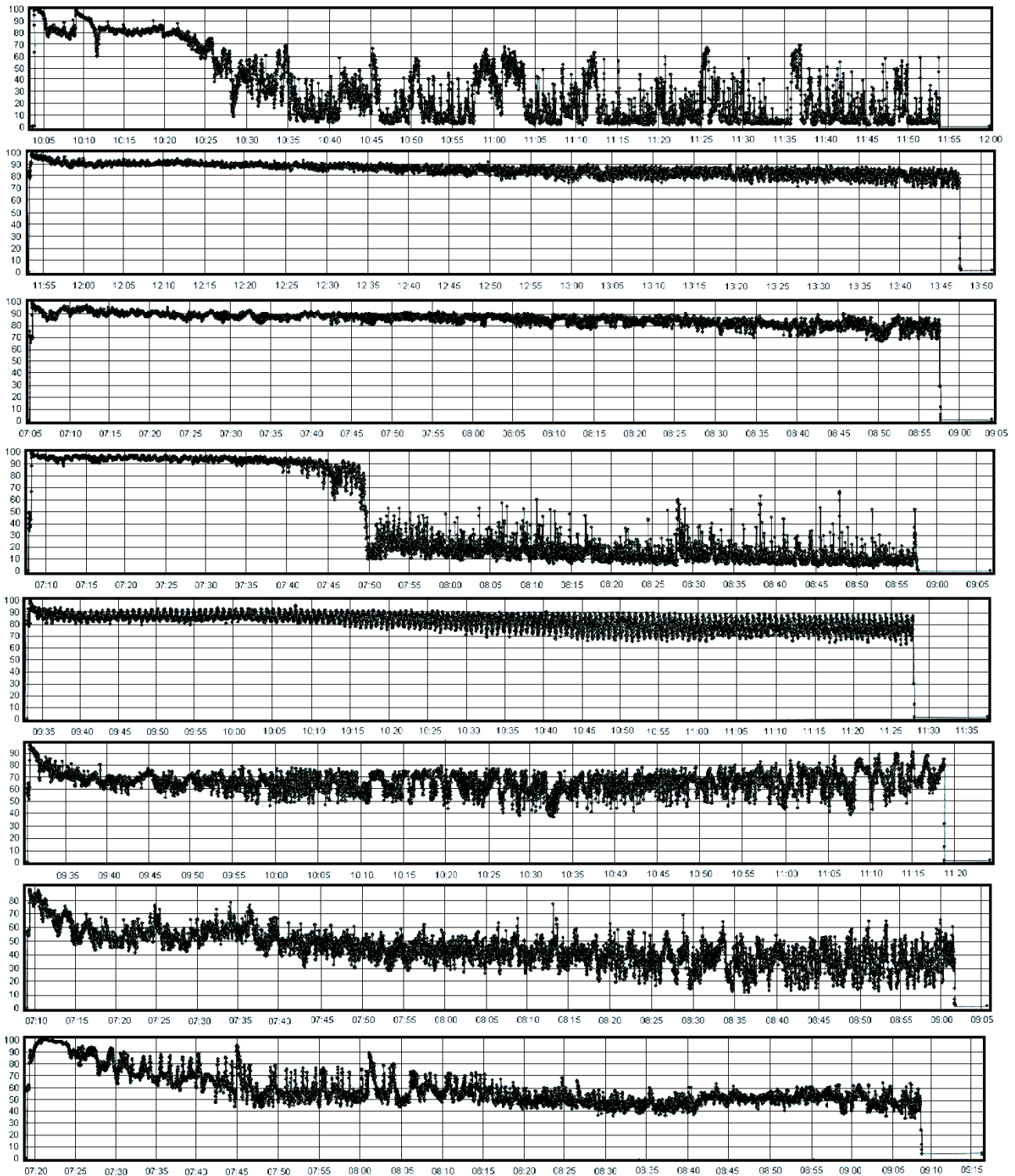


Рис. 2. Зависимость тока, протекающего через фрикционный контакт, от времени испытания при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф при положительном потенциале на шаре

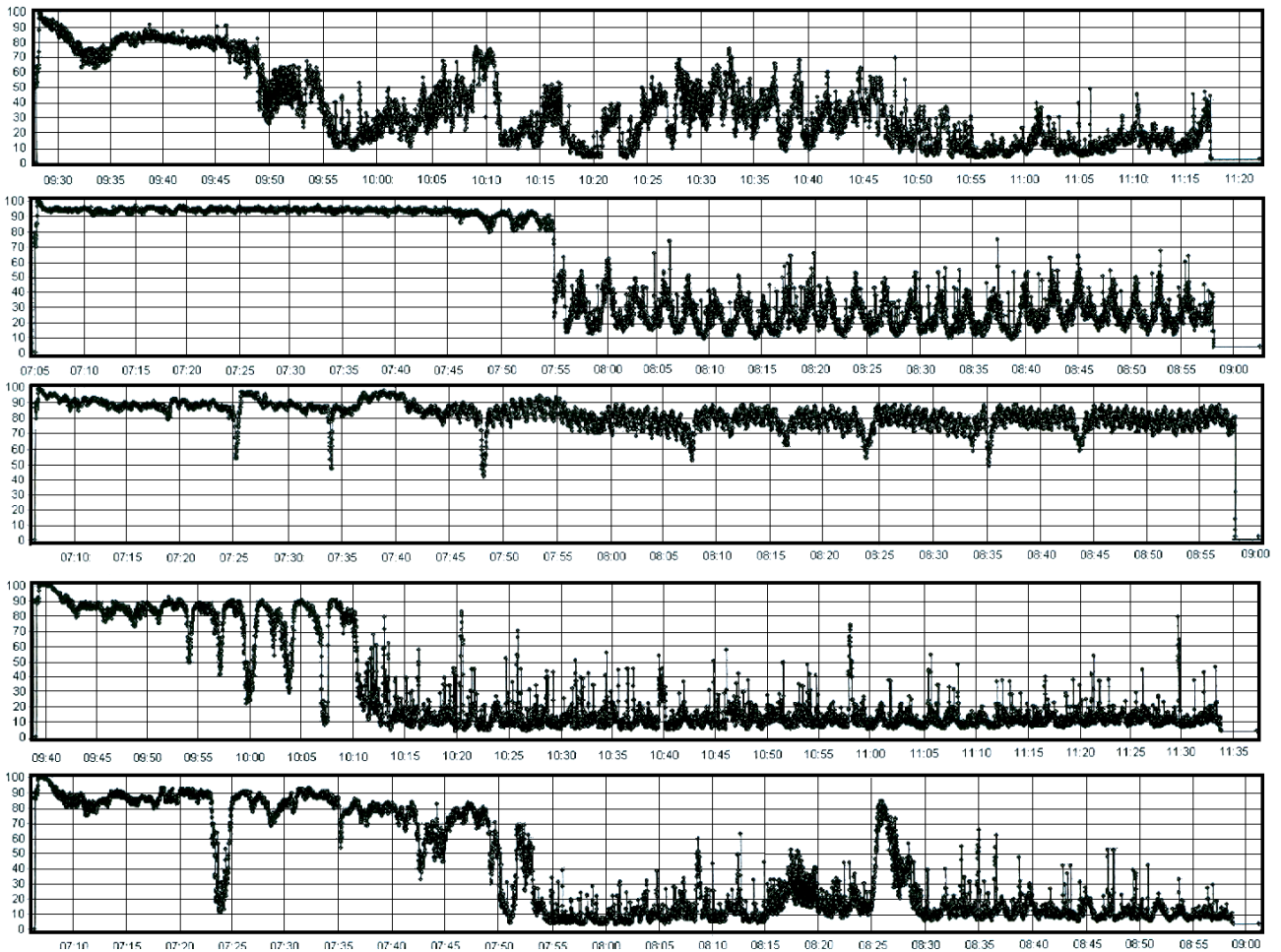


Рис. 3. Зависимость тока, протекающего через фрикционный контакт, от времени испытания при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф при отрицательном потенциале на шаре

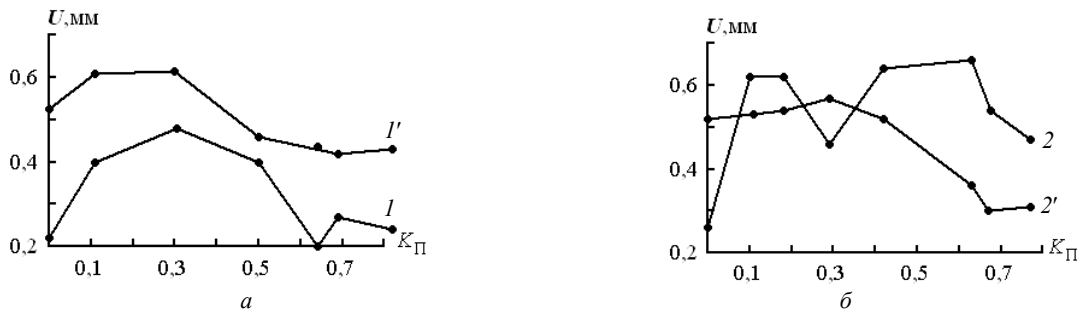


Рис. 4. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф:

a – при положительном потенциале на шаре: 1 – на шаре есть положительный потенциал; $1'$ – на шарах отсутствует потенциал;
 b – при отрицательном потенциале на шаре: 2 – на шаре есть отрицательный потенциал; $2'$ – на шарах отсутствует потенциал

На величину износа основное влияние оказывает продолжительность пластической и упругопластической деформаций $t_{д}$, определяющих скорость формирования фактической площади контакта. Связь между этим показателем и степенью окисления синтетического масла определяет его противоизносные свойства и влияние полярности тока (рис. 5). При положительном потенциале на шаре (кривая 1) с увеличением концентрации продуктов окисления ($K_{П}$) время

формирования контакта уменьшается до значения $K_{П} \approx 0,65$ ед., однако при $K_{П} > 0,65$ ед. время формирования контакта увеличивается. Кроме того, при окислении масла до значений $K_{П} = 0,1$ ед. время формирования контакта увеличивается по сравнению с товарным (неокисленным) маслом (точка на оси ординат, рис. 5).

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2 , рис. 5) время формирования контакта увеличивается с увеличением коэффициента поглощения светового

потока до значения $K_{\Pi} \approx 0,4$ ед., а при значениях коэффициента $0,7 > K_{\Pi} > 0,4$ ед. время сокращается за счет образования на поверхностях трения защитных пленок, однако при $K_{\Pi} > 0,7$ ед. время формирования контакта повторно увеличивается.

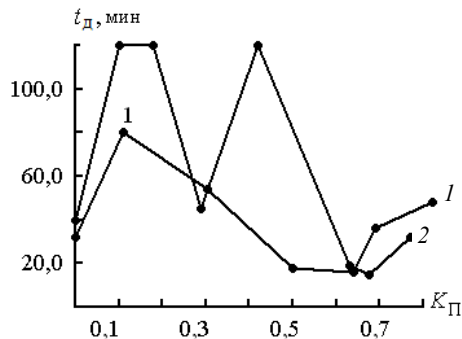


Рис. 5. Зависимость времени формирования площади фрикционного контакта от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-10-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Связь между изменениями диаметра пятна износа и временем формирования площади фрикционного контакта представлена на рис. 6. Согласно данным при положительном потенциале на шаре (кривая 1) противоизносные свойства окисленного масла максимальны при значении времени формирования фрикционного контакта, изменяющегося в пределах от 20 до 50 мин, причем величина износа не превышает 0,3 мм.

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2, рис. 6) противоизносные свойства синтетического масла улучшаются в тех же пределах изменения времени формирования контакта, что и при положительном потенциале на шаре, однако величина параметра износа превышает значения, полученные при положительном потенциале на шаре.

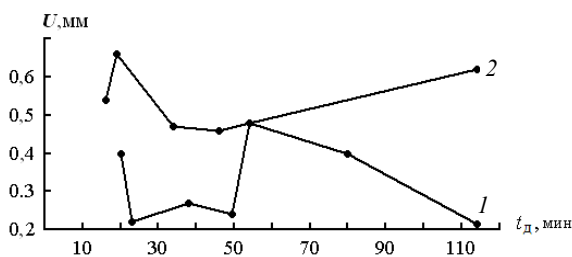


Рис. 6. Зависимость диаметра пятна износа от продолжительности формирования площади фрикционного контакта при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Таким образом, формирование фрикционного контакта за период времени от 20 до 50 мин характеризуется наименьшим износом, величина которого определяется полярностью тока. Когда время формирования контакта составляет более 50 мин, износ увеличивается за счет влияния продуктов окисления, и чем

меньше их концентрация в масле (см. рис. 1), тем продолжительнее формируется контакт и ниже противоизносные свойства масла. Эта тенденция наблюдается независимо от полярности тока на испытательных шарах.

Изменение электропроводности фрикционного контакта от степени окисления масла представлены на рис. 7. Коэффициент электропроводности K_3 характеризует интенсивность процессов, протекающих на фрикционном контакте при упругих деформациях, проявляющихся в основном после формирования площадки контакта. Эти процессы характеризуются образованием и разрушением на поверхностях трения защитных пленок.

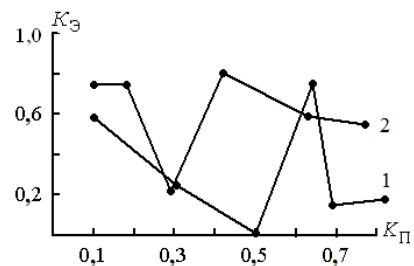


Рис. 7. Зависимость коэффициента электропроводности фрикционного контакта от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Установлено влияние полярности тока на шаре на величину коэффициента электропроводности K_3 в зависимости от концентрации продуктов окисления. Так, при положительном потенциале на шаре (кривая 1, рис. 7) коэффициент электропроводности K_3 уменьшается с увеличением коэффициента поглощения светового потока до значения $K_{\Pi} = 0,5$ ед. При значении $K_{\Pi} \approx 0,65$ ед. наблюдается резкое увеличение коэффициента K_3 , а при значениях $K_{\Pi} > 0,65$ ед. коэффициент K_3 уменьшается до значений $K_3 < 0,2$ ед. Такое изменение электропроводности может объясняться изменениями в составе продуктов окисления, по-разному влияющих на интенсивность формирования защитных пленок на поверхности шара.

При отрицательном потенциале на шаре (кривая 2, рис. 7) и значении коэффициента поглощения светового потока $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. установлено минимальное значение коэффициента электропроводности, однако при значении $K_{\Pi} > 0,4$ ед. коэффициент K_3 уменьшается. Общей отличительной характеристикой изменения коэффициента K_3 при отрицательном потенциале на шаре является то, что его значения превышают значения, полученные при положительном потенциале на шаре, а это влияет на величину износа, так как продолжительность упругопластической деформации в контакте увеличивается. Это подтверждается зависимостью диаметра пятна износа от коэффициента электропроводности (рис. 8). Так, при положительном потенциале на шаре (кривая 1) значения износа меньше, чем при отрицательном потенциале (кривая 2). Причем кривая 1 имеет одинаковую тенденцию изме-

нения износа как от коэффициента K_{Σ} , так и от времени формирования контакта t_d (см. рис. 6), т. е. наблюдается определенная связь между коэффициентом электропроводности K_{Σ} и временем формирования фрикционного контакта t_d . Результаты исследования зависимостей между этими показателями представлены на рис. 9. Установлено, что независимо от потенциала на шаре зависимости $K_{\Sigma} = f(t_d)$ имеют минимум при $t_d \approx 45$ мин, а максимум при $t_d \approx 25$ мин. Если сравнить результаты изменения величины износа от времени формирования площади фрикционного контакта (см. рис. 6), то видно, что в интервале $25 \text{ мин} < t_d < 50 \text{ мин}$ износ шаров независимо от полярности тока приобретает минимальные значения, хотя для отрицательного потенциала на шаре он больше, чем при положительном потенциале.

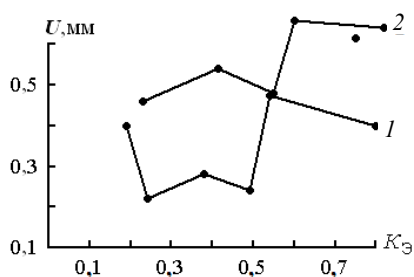


Рис. 8. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента электропроводности фрикционного контакта при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

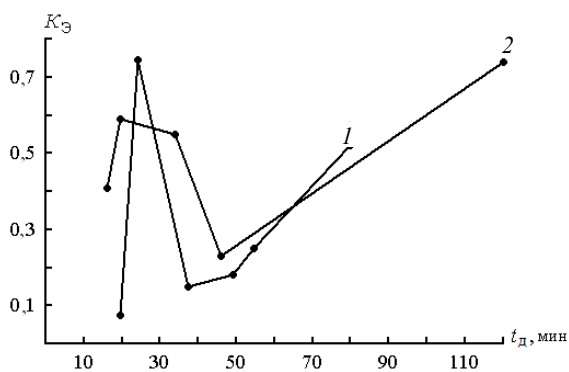


Рис. 9. Зависимость коэффициента электропроводности от продолжительности формирования площади фрикционного контакта при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Механохимические процессы, протекающие на фрикционном контакте, определяют время формирования площади фрикционного контакта и величину коэффициента электропроводности, поэтому произведение этих параметров принято за коэффициент интенсивности механохимических процессов $\Pi_{\text{МХ}}$. Зависимость данного коэффициента от степени окисления синтетического масла представлена на рис. 10. Установлено, что при положительном потенциале на шаре с увеличением коэффициента поглощения светового

потока коэффициент механохимических процессов уменьшается до значения $K_{\Pi} \approx 0,5$ ед., а затем незначительно увеличивается. При отрицательном потенциале на шаре значения коэффициента $\Pi_{\text{МХ}}$ значительно выше и подвержены колебаниям в пределах значений коэффициента поглощения светового потока от 0,1 до 0,4 ед. С увеличением коэффициента $K_{\Pi} > 0,4$ ед., коэффициент $\Pi_{\text{МХ}}$ уменьшается, и его значения приближаются к значениям, полученным при положительном потенциале на шаре.

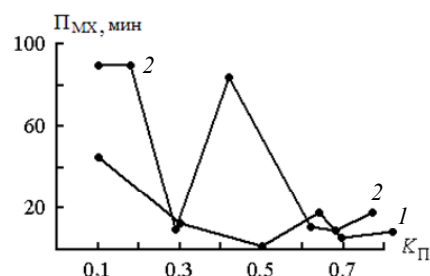


Рис. 10. Зависимость коэффициента механохимических процессов от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф (условные обозначения см. на рис. 1)

Коэффициент механохимических процессов характеризует совместное проявление механической и химической составляющих в процессе трения. С его помощью установлено, что при малых концентрациях продуктов окисления $K_{\Pi} \approx 0,3$ ед. время формирования контакта увеличено, а формирование защитных пленок на поверхностях трения незначительно. Поэтому в этот период при увеличении K_{Π} до 0,3 ед. преобладает механическая составляющая при формировании площади пятна износа, а при значениях $K_{\Pi} > 0,3$ ед. преобладает химическая составляющая механохимических процессов.

Важным показателем противоизносных свойств смазочного материала является несущая способность граничного слоя, определяемая отношением нагрузки и площади пятна износа (рис. 11). Влияние полярности тока на несущую способность граничного масляного слоя представлено зависимостью этого показателя от коэффициента поглощения светового потока. Несущая способность определялась при положительном потенциале на шаре (кривая 1, рис. 11, а) и при его отсутствии (кривая 1', рис. 11, а). Установлено, что до значения коэффициента поглощения светового потока, равного 0,5 ед., ток, пропускаемый через фрикционный контакт, практически не оказывает влияние на несущую способность, которая составила менее 100 Н/мм^2 . Однако при значениях коэффициента $K_{\Pi} > 0,5$ ед. полярность тока повышает несущую способность граничного слоя более чем в 2 раза. Это объясняется тем, что большая концентрация продуктов окисления ($K_{\Pi} > 0,5$ ед.) интенсифицирует хемосорбционные процессы, в результате, на поверхностях трения образуются защитные пленки, уменьшающие износ (площадь контакта).

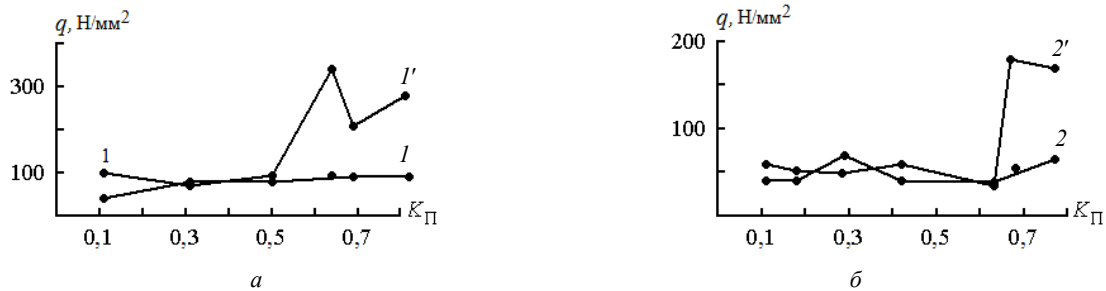


Рис. 11. Зависимость давления в контакте от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического масла ВНИИНП 50-1-4ф:

a – при положительном потенциале на шаре: 1 – есть положительный потенциал на шаре; 1' – без потенциала;
 a – при отрицательном потенциале на шаре: 2 – есть отрицательный потенциал на шаре; 2' – без потенциала

В случае отрицательного потенциала на шаре (рис. 11, б) несущая способность граничного слоя практически одинакова, как при наличии потенциала на шаре (кривая 2), так и при его отсутствии (кривая 2'), до значения коэффициента поглощения светового потока $K_{\Pi} \approx 0,6$ ед. и составляет приблизительно 100 H/mm^2 . При значениях $K_{\Pi} > 0,6$ ед. несущая способность граничного слоя повышается, однако при отсутствии отрицательного потенциала на шаре (кривая 2') несущая способность увеличивается в 1,5 раза. Это вызвано тем, что при отрицательном потенциале на шаре основные сорбционные процессы протекают на обойме, а так как ее площадь, контактируемая с поверхностью шара, значительно больше, то эффективность граничных пленок снижается, и они не способны уменьшить износ.

При отсутствии потенциала на испытуемых образцах хемосорбционные процессы более активно проявляются на поверхностях шара, вызывая уменьшение износа и повышение несущей способности граничного слоя. На активность хемосорбционных процессов оказывает влияние концентрация продуктов окисления.

В результате проведенных исследований установлено, что противоположными свойствами смазочных

материалов можно управлять путем создания на поверхности трения электрического потенциала, повышающего или понижающего поверхностную энергию твердого тела, изменяющую интенсивность механохимических процессов, протекающих на поверхностях трения, и несущую способность граничных слоев.

Продукты окисления синтетического авиационного масла ВНИИНП 50-1-4ф оказывают влияние на противоположные свойства при их определенной концентрации и полярности тока.

Библиографические ссылки

1. А. с. 983522 СССР, МКИ³ G 01 N 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б. И. Ковальский, М. Е. Грибанов. 1982, Бюл. № 47.
2. А. с. 1054732 СССР, МКИ³ G 01 N 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, Г. М. Сорокин, А. П. Ефремов. 1983, Бюл. № 42.
3. Пат. 2186386 РФ, МКИ³ G 01 N 33/30, 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский, Д. Г. Барков. 2002, Бюл. № 21.

B. I. Kovalskiy, Yu. N. Bezborodov, A. V. Kuzmenko, Yu. F. Kaizer

INFLUENCE OF A CURRENT PASSED THROUGH FRICTIONAL CONTACT ON ANTIWEAR PROPERTIES OF SYNTHETIC AVIATION OIL VNIINP 50-1-4f

The authors present a method for definition of influence of a direct current passed through frictional contact on antiwear properties of aviation motor synthetic oil VNIINP 50-1-4f. The criterion of an estimation mechanic-chemical processes on frictional contact is offered.

Keywords: mechanic-chemical processes, thermal-oxidative stability, process self-organizing, plastic and elasto-plastic deformations, chemisorptive boundary layer.

© Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Кузьменко А. В., Кайзер Ю. Ф., 2011

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ

Описаны методы получения нанопорошков химических соединений и способы определения размеров их частиц.

Ключевые слова: нанопорошки химических соединений, размеры.

С целью повышения физико-механических характеристик изделий, изготавливаемых из различных материалов (сплавы, графитовые изделия, пластмассы и др.), в процессе их получения в последнее время все шире применяются нанопорошки (НП) высокопрочных тугоплавких соединений (нитриды, карбонитриды, карбиды, оксиды, бориды и др.) [1].

В связи с исключительно малыми размерами частиц НП (кристаллические или аморфные образования с размерами частиц, не превышающими 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) и их высокой реакционной способностью возникла идея их введения в металлические расплавы в качестве центров кристаллизации с целью измельчения структуры литых изделий. Однако существующие способы введения в металлические расплавы порошкообразных добавок не могут быть приняты при использовании НП вследствие их особых свойств по сравнению с более крупными порошками. Так, частицы НП легко конгломерируются, их окисление начинается при сравнительно низких температурах и, что особенно важно для выполнения роли центров кристаллизации, – они плохо смачиваются жидким металлом. Кроме того, несмотря на высокую плотность (от 1380 кг/м^3 (TaN) до 2510 кг/м^3 (B_4C)), НП легко образуют в воздухе пылевидную взвесь, при определенных условиях самовозгорающуюся, и даже взрывоопасную. Все это делает практически невозможным прямое введение НП в расплавы. В связи с этим был разработан принципиально новый способ их введения в расплав. В результате перебора целого ряда вариантов нами был разработан эффективный способ введения НП в жидкий металл [2], блокирующий перечисленные выше негативные явления – суть способа заключается в прессовании прутков или проволоки (рис. 1) различного диаметра из композиции частицы алюминия (гранулы, крупка и др.) + НП.

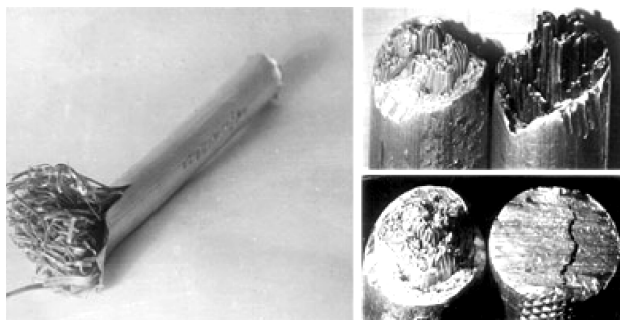


Рис. 1. Пруток, отпрессованный из алюминиевых гранул и НП

Полученные прутки служили носителем модификатора – при их введении в расплав алюминиевая матрица расплавлялась, и частицы НП оказывались в объеме жидкого металла, минуя контакт с атмосферой.

Содержание НП в прутках лежало в пределах 1,5...2,7 масс. %, а количество любого из НП, вводимого в любые исследуемые сплавы, не превышало 0,05 %, а в отдельных случаях – всего до тысячных долей процента. Расход прутка при этом составляет 20...25 кг на 1 т металла.

В данном исследовании были использованы НП, полученные методом плазмохимического синтеза, такие как: оксид алюминия Al_2O_3 ; карбид бора B_4C ; карбид бора B_4C с примесью нитрида бора BN; нитрид бора BN, карбонитрид хрома $\text{Cr}_3\text{C}_{1,6}\text{N}_{0,4}$ с примесью оксида Cr_2O_3 и углерода C; нитрид гафния HfN; диборид гафния HfB₂; гексаборид лантана LaB₆; карбид кремния SiC; нитрид кремния Si₃N₄; нитрид тантала TaN; карбонитрид титана $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_z$; оксикарбонитрид титана $\text{Ti}_x\text{C}_y\text{N}_z\text{O}_t$; нитрид титана TiN; двуокись титана TiO₂; карбид ванадия VC; карбонитрид ванадия $\text{V}_x\text{C}_y\text{N}_z$; нитрид ванадия $\text{V}_{0,75}\text{N}_{0,25}$ с примесью оксида ванадия V₂O₃; а также такие смеси НП: нитрид алюминия AlN + нитрид титана TiN; нитрид бора BN + карбид бора B₄C; карбид кремния SiC + карбид бора B₄C; карбид кремния SiC с примесью двуокиси кремния SiO₂; карбид кремния SiC с примесью двуокиси кремния SiO₂ и кремния Si. Эти химические соединения относятся к промежуточным фазам (соединения металлов с водородом, углеродом, азотом и бором), характерной особенностью которых является высокая степень устойчивости, неметаллический характер и высокая температура плавления (в области 2273...3273 К). Применялся также оксид алюминия Al₂O₃, полученный электровзрывным способом.

По результатам разработанных нами технологий по применению НП для повышения качества металлоизделий, изготавливаемых разными способами из различных металлов и сплавов, получено 28 авторских свидетельства СССР и патентов РФ на изобретения. Большая часть работ была проведена с целью измельчения структуры и, как результат, повышения уровня механических свойств изделий из алюминиевых литейных сплавов (фасонное литье и жидкая штамповка) и чугуна (фасонное литье), алюминия и деформируемых алюминиевых сплавов при литье слитков полунепрерывным способом. Кроме того, получены положительные результаты при сварке объемной конструкции транспортного средства из листов

сплава АМг6 сварочными электродами, содержащими в объеме НП. При этом повысились механические свойства сварного шва.

При введении НП в алюминий при литье крупногабаритных слитков сечением 430×1560 мм полунепрерывным способом предотвращается образование трещин на их гранях, а в результате введения НП в алюминиевые деформируемые сплавы при литье полунепрерывным способом слитков $\varnothing 190$ мм из сплава Д16; $\varnothing 300$ мм, 420 мм и 500 мм из сплава АМг6 и $\varnothing 480$ мм из сплава Д1 происходит измельчение зерна в диапазоне 1,7...20,0 раз, что приводит к росту механических свойств отпрессованных из них профилей различного сечения и размеров по сравнению с профилями из слитков, отлитых по обычной технологии. Так, σ_b повышается на 2,5...5,0 %, $\sigma_{0,2}$ – на 2,0...8,9 %, δ – на 11,8...31,0 %.

В результате введения НП в алюминиевые литейные сплавы АК12, АК9ч, АК7ч, АК7Ц9, АМ5, АК7 и др. измельчается макро- и микроструктура отливок, получаемых разными способами (литье в земляные и металлические формы, жидкая штамповка и др.), что приводит к повышению σ_b на 2,5...19,3 % и δ – в 1,5...7,3 раза.

В результате введения НП в серый чугун СЧ15 уменьшается глубина отбела с 18 мм (при стандартной технологии подготовки расплава к литью) до 1 мм, а также в 1,6 раза измельчается эвтектическое зерно (количество зерен на площади шлифа в 1 см^2 увеличивается с 38 до 61), что приводит к повышению σ_b на 19,5 % (с 174 до 208 МПа); введение НП в износостойкий высокохромистый чугун ИСЦ (порядка 20,0 % Cr) приводит к росту твердости HR_c по сравнению с обработкой расплава стандартным модификатором на 9,8 % (с 61,5 до 67,5 ед. HR_c), при этом износ отливок уменьшается на 32,5 %; введение НП в специальный износостойкий чугун СЧС-1С (1,6...1,9 % Si; 0,7...1,0 % Mn; 0,35...0,5 % Cr; 0,53...0,9 % Ni; 2,5...3,2 % C; ост. – Fe) повышает σ_b в среднем на 13,5 % (с 203...229 до 225...280 МПа), а в результате введения НП в высокохромистый чугун ИЧХ-12М (14,0...15,0 % Cr; 2,75 % C; ост. – Fe), легированный комплексом Ni–V–Ti–Mo, повышается HR_c отлитых из него лопаток дробеменного аппарата на 8,13 % (с 61,5 до 66,5 ед. HR_c) по сравнению со стандартной технологией подготовки расплава к литью, а их ресурс эксплуатации увеличился на 15...20 %.

В результате введения НП в композицию, применяющуюся для формирования в процессе литья на поверхности отливок из стали 35Л износостойкого легированного слоя, его HR_c повышается на 36,9 % (с 32,5 до 44,5 ед. HR_c) по сравнению с нелегированной сталью, а относительная износостойкость (износостойкость стали 35Л принята за единицу) возрастает на 45,8 %. Разработанная технология была использована:

– при литье из стали 35Л кернов колодецевого крапа (длина 235 мм, диаметр рабочей части 140 мм, масса 10 кг) взамен применения сложнелегированного сплава 20Х25Н10ТСЛ с последующей наплавкой электродом из сплава Э-70Х3СМТ. Срок службы кернов, отлитых с применением НП, составил 25 ч., а изготовленных по стандартной технологии – 16 ч;

– при литье из стали 35Л бил (габариты $40 \times 124 \times 160$ мм, масса 14,3 кг) углеразмольных агрегатов с получением HR_c поверхностного слоя в интервале 48...50 ед. и увеличением срока службы в 1,5 раза по сравнению с билами, отлитыми по стандартной технологии.

Существует свыше 20 способов получения НП [3] и их условно можно разбить на четыре группы:

– путем химических реакций в растворе или газовой фазе получают молекулярные кластеры;

– конденсацией в газовой фазе путем первичного испарения получают газофазные кластеры;

– в результате протекания твердотельных химических реакций или имплантации ионов возникают твердотельные кластеры;

– путем нуклеации из растворов и расплавов или путем золь-гель превращений получают коллоидные кластеры.

Процессы, в результате которых происходит формирование наноструктур – это кристаллизация, рекристаллизация, фазовые превращения, высокие механические нагрузки, интенсивная пластическая деформация, полная или частичная кристаллизация аморфных структур [4]. Характеристики получаемого продукта – гранулометрический состав и форма частиц, содержание примесей, величина удельной поверхности – могут колебаться в зависимости от способа получения в весьма широких пределах.

В настоящее время сотни организаций в нашей стране и за рубежом производят НП различного химического состава, но их применение не всегда дает желаемые результаты, что связано во многих случаях с незнанием истинных размеров частиц НП, определение которых представляет собой достаточно сложную проблему.

В наших исследованиях неоднократно возникали ситуации, когда при применении одного и того же НП, но произведенного разными предприятиями, имели место отличающиеся свойства конечных продуктов. По-видимому, это связано с использованием партий НП с отличающимися размерами частиц, что, в свою очередь, может быть связано как с технологиями их производства, так и с применением различных методов определения их размеров.

В табл. 1 приведены применяющиеся в настоящее время методы определения размеров наночастиц. При этом из табл. 2 [5] видно, насколько могут отличаться размеры частиц железа, определяемые разными способами.

Методы определения размеров наночастиц

Методы анализа	Явления или процессы, лежащие в основе данного метода
Электронная микроскопия	Анализ образца с помощью пучка ускоренных электронов
Просвечивающая электронная микроскопия	Просвечивание образца пучком электронов с определением размера и внутренней структуры частиц
Сканирующая (растровая) электронная микроскопия	Сканирование поверхности образца пучком электронов с одновременной регистрацией вторичных электронов и получение объемного изображения
Сканирующая зондовая микроскопия	Анализ с помощью зонда рельефа поверхности образца
Сканирующая туннельная микроскопия	Анализ рельефа токопроводящих поверхностей путем фиксирования величины туннельного тока, возникающего между острием зонда и поверхностью образца
Атомно-силовая микроскопия	Анализ рельефа и механических свойств поверхностей путем фиксирования величины Ван-дер-Ваальсовых сил, возникающих между острием зонда и поверхностью образца
Светорассеяние (метод статистического рассеяния света)	Определение размера частиц по интенсивности рассеянного света
Фотонная корреляционная спектроскопия (метод динамического рассеяния света)	Определение размера частиц по коэффициенту диффузии, определяемого путем интенсивности и частотных характеристик рассеянного света
Малоугловое рассеяние (рентгеновских лучей и нейтронов)	Оценка размера частиц по угловой зависимости интенсивности диффузного рассеяния (в области малых углов)
Дифракционные методы (рентгено-электроно-нейронография)	Дифракция излучения на кристаллической решетке образца с получением дифрактограммы и оценка размеров кристаллов по величине уширения дифракционных максимумов
Седиментация	Определения размера частиц по скорости их оседания
Адсорбционный метод (БЭТ)	Определение удельной поверхности (размера частиц) образца путем измерения величины низкотемпературной адсорбции инертных газов (азота)

Таблица 2

Результаты определения размера частиц Fe, полученных различными методами

Методы анализа	Размер частиц, нм
Сканирующая электронная микроскопия	50–80
Просвечивающая электронная микроскопия	300–1 000
Рентгенография	20
Малоугловое рассеяние нейтронов: нейтронография	24–64
Низкотемпературная адсорбция (БЭТ)	60
Статическое светорассеяние	500–8000
Динамическое светорассеяние	70

«Простейшим» способом определения размеров части НП является их изучение с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Но, например, по приведенной фотографии (рис. 2) НП нитрида титана TiN, произведенного фирмой NaBond Technologies Co., Ltd, HONG KONG [6], не представляется возможным классифицировать данный порошок, хотя в целом размеры его частиц не превышают 100 нм. Кроме того, частицы НП склонны к образованию конгломератов.

Подобные данные приведены в работе [7] (рис. 3).

Полное представление о дисперсности порошков дает знание совокупности таких характеристик, как размеры частиц, их полная удельная поверхность и морфология. Существует множество методов определения размера частиц, использующих различные физические принципы, такие, например, как лазерная дифракция светового потока на частицах, седиментация части по весу в дисперсионной среде. Существ-

венное дополнение в исследование размера, геометрии и морфологии частиц дает метод определения их удельной поверхности, а также сканирующая электронная микроскопия [8].

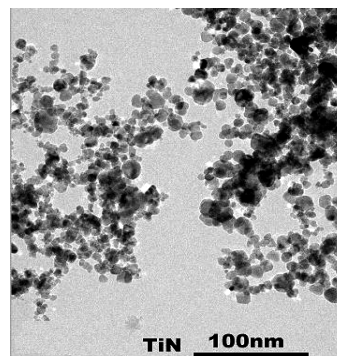


Рис. 2. Нанопорошок нитрида титана TiN, произведенный фирмой NaBond Technologies (Co., Ltd, HONG KONG)

При этом не всегда различные по принципам исследования методы дают сходные результаты, что и было показано в работе [8] при оценке ультратонкого порошка вольфрама указанными выше методами. Сложность определения размеров частиц порошков заключается еще и в том, что они склонны к агломерации [8].

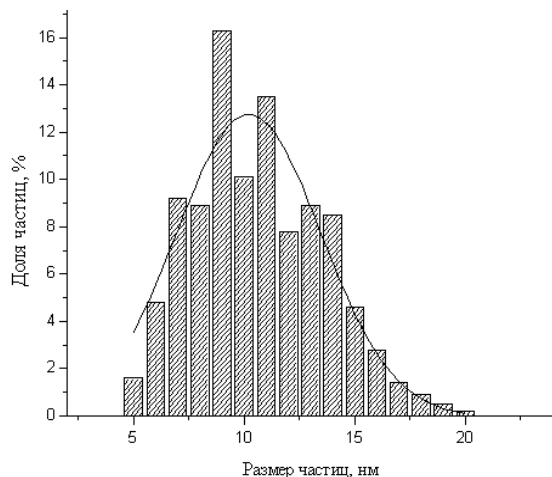


Рис. 3. Гистограмма распределения по размерам наночастиц серебра

Применяются и другие методы определения размеров частиц нанопорошков, но как показал их анализ, ни один из них не дает точные размеры частиц НП.

Неудивительно, что в недавней работе [9], авторы которой десятки лет работают с нанопорошками, посвященной проблеме аттестации нанопорошков, отмечается, что «для объективной оценки свойств и характеристик нанопорошков... необходима разработка комплекса методов анализа».

Однако, исходя из полученных нами результатов применения свыше 20-ти видов НП химических со-

единений с целью повышения характеристик металлоизделий, наилучшие результаты дают НП с высокими значениями их удельной поверхности – это НП, размеры частиц которых имеют максимально малые размеры, что и требуется для того, чтобы они выполняли роль центров кристаллизации.

Библиографические ссылки

1. Упрочнение металлических, полимерных и эластомерных материалов ультрадисперсными порошками плазмохимического синтеза / М. Ф. Жуков [и др.]. Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние РАН, 1999.
2. Крушенко Г. Г., Фильков М. Н. Модифицирование алюминиевых сплавов нанопорошками // Нанотехника. 2007. № 4. С. 58–64.
3. Суздальев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М. : КомКнига, 2006.
4. Новые материалы. Коллектив авторов / под науч. ред. Ю. С. Карабасова. М. : МИСиС. 2002.
5. Kecskes L. J., Woodman R. H., Trevino S. F. Characterization of a nanosized iron powder by comparative methods // Kona. 2003. № 21. P. 143–149.
6. NaBond Technologies Co. [Electronic resource]. URL: http://www.nabond.com/TiN_nanopowder.html.
7. Стабильные наночастицы серебра в водных дисперсиях, полученных из мицеллярных растворов / Е. М. Егорова [и др.] // Журнал прикладной химии. 2002. Т. 75. № 10. С. 1620–1625.
8. Пименова Н. В. Порошки вольфрама, полученные различными способами // Технология металлов. 2011. № 2. С. 25–27.
9. Ильин А. П., Коршунов А. В., Толбанова Л. О. Структура, свойства и проблемы аттестации нанопорошков металлов // Изв. Том. политех. ун-та. 2009. Т. 314. № 3. С. 35–40.

G. G. Krushenko, S. N. Reshetnikova

DETECTING SIZES OF OF CHEMICAL COMPOUNDS NANOPARTICLES

The methods of obtaining nanopowders of chemical compounds, the ways of detection the sizes of nanopowders particles and its use for increase of metal production properties are described in the article.

Keywords: nanopowders of chemical compounds.

© Крушенко Г. Г., Решетникова С. Н., 2011

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРЕНИЯ ДУГИ НА МАЛЫХ ТОКАХ

Приведены осциллограммы токов и напряжений при подключении однофазного сварочного выпрямителя на активную нагрузку. Пульсации тока и напряжения при включении конденсаторов и индуктивности уменьшаются, что позволяет сваривать торцевые соединения толщиной 0,1–0,2 мм.

Ключевые слова: осциллографирование, ток, напряжение, толщина 0,1–0,2 мм, сварка неплавящимся электродом (TIG).

При сварке неплавящимся вольфрамовым электродом диаметром 1–5 мм в защитных газах током менее 10–15 А дуга горит неустойчиво [1]. Однофазный выпрямитель с конденсаторным множителем напряжения и индуктивностью сварочной цепи 0,8–1,2 мГн обеспечивает устойчивое горение дуги вольфрамовым электродом в защитных газах при силе тока более 1 А [2].

Ухудшение устойчивости горения дуги неплавящимся электродом в защитных газах объясняется отставанием и блужданием активных пятен [3–5]. Но это явление объясняется на уровне гипотез [5; 6]. Во многих работах приводятся сведения о поведении катодного пятна, которое на плоском электроде обладает своеобразной инерцией и после движения верхнего электрода некоторое время удерживается на месте – отставание пятна зависит от скорости движения электродов, расстояния между ними и силы тока. Также пятно может передвигаться отдельными шагами, переступая от одной остановки к другой. Причем на вольфраме и стали пятно неподвижно, а на алюминии и меди движение столь интенсивно, что создается впечатление кратковременного присутствия на поверхности одновременно нескольких малых по размеру активных пятен, обеспечивающих катодное распыление окисной пленки [7].

Устойчивость горения дуги на малых токах также определяется конструкцией электродов и ее тепловой мощностью, поступающей в электрод. Она стремится к некоторой определенной величине, принимаемой за критическую, ниже которой устойчивый дуговой разряд существовать не может. При уменьшении тока наступает момент, когда тепловой мощности, поступающей в электрод от дуги, оказывается недостаточно для поддержания температуры катодного пятна на уровне, обеспечивающем высокую степень термоэлектронной эмиссии. Из-за недостатка тепловой мощности активное пятно начинает перемещаться по микровыступам боковой поверхности электрода, эмиссия электронов с которых под воздействием электрического поля максимальна [4].

Работоспособность электродов при сварке и устойчивость горения на малых токах (1–10 А) можно улучшить, снизив теплоотвод от рабочего участка и обеспечив близкий к равномерному его нагрев. Наиболее просто эта задача решается увеличением сопротивления вылета путем уменьшения диаметра неплавящегося вольфрамового электрода. При силе

тока 1–10 А близкий к равномерному нагрев рабочего участка достигается применением электродов диаметром 0,3 мм и менее [4].

Повышенную устойчивость зажигания и горения дуги вольфрамовым электродом диаметром более 1 мм на малых токах можно объяснить уменьшением пульсации тока и напряжения при питании дуги от выпрямителя с конденсаторным множителем напряжения. Без последнего, при отсутствии индуктивного сопротивления в сварочной цепи, зажигание и горение дуги резко ухудшается и становится невозможным. Факт ухудшения зажигания дуги с уменьшением напряжения холостого хода имеет место при любом способе сварки. Однако повышение напряжения холостого хода более 100 В на выпрямителях не допускается по правилам техники безопасности. Напряжение холостого хода выпрямителя 30–32 В с включением конденсаторов емкостью 2000 мкФ увеличивается в 2,82 раза, что улучшает зажигание дуги. Видимо, накопленная в индуктивном сопротивлении и конденсаторах энергия передается на дуговой промежуток.

В работе [8] отмечается, что индуктивные накопители выделяют в сварочную дугу электрическую энергию, аккумулированную в электромагнитной системе. Это обеспечивается путем зарядки индуктивного накопителя до заданной величины тока с последующим разрядом его на дуговой промежуток. Устройства, созданные на базе индуктивных накопителей энергии, нечувствительны к коротким замыканиям дугового промежутка и отличаются повышенной устойчивостью против случайных обрывов дуги.

Считают, что совместное действие энергии, накопленной в индуктивном сопротивлении и конденсаторах, обеспечивает эффект колебательного контура, который передает ее на дуговой промежуток [9]. Очевидно, что элементы теории, приводимой в работах [8; 9], не позволяют с необходимой точностью выполнить инженерные расчеты, объясняющие передачу энергии от дросселя и конденсаторов на дугу.

Индуктивность совместно с емкостью может выполнять функцию накопления энергии со сглаживанием пульсаций постоянного напряжения и тока выпрямителя [10]. Они оцениваются значениями коэффициентов пульсации по напряжению $K_{Пн}$ и по току $K_{Пт}$. Наиболее просто их определяют по формулам:

$$K_{Пн} = \frac{U_1 - U_2}{2}; \quad K_{Пт} = \frac{I_1 - I_2}{2},$$

где U_1 и U_2 – максимальное и минимальное значения выпрямленного напряжения; I_1 и I_2 – максимальное и минимальное значения тока.

Устойчивое горение дуги на малых токах неплавающимся электродом без конденсаторного умножителя напряжения и индуктивного сопротивления невозможно. Поэтому для оценки влияния индуктивного сопротивления и конденсаторов на устойчивость процесса к выпрямителю подключался балластный реостат, имитирующий нагрузку от горения дуги. В проведенных опытах фиксировались пульсации тока и напряжения на малых токах: без конденсаторов и дросселя, с конденсаторами, с дросселем, совместно – с конденсаторами и дросселем.

Пульсация тока и напряжения при подключении к выпрямителю балластного сопротивления в отсутствии дросселя и конденсаторов (I_1 – ток, потребляемый из первичной сети) показана на рис. 1.

В данном случае коэффициент пульсации напряжения и тока равен 0,5 (если считать максимальное значение амплитуды за 1).

При включении в электрическую цепь дросселя индуктивностью 8,1 мГн $K_{Пг} = 0,8$, а пульсация напряжения не сглаживается (рис. 2).

Осциллограммы (рис. 3), для которых $K_{Пн} = 0,8$, $K_{Пг} = 0,85$ соответствуют включению конденсаторов емкостью 2000 мкФ. Включение конденсаторов в 2,82 раза увеличивает напряжение холостого хода и соответственно ток, что повышает мощность, передаваемую в электрическую цепь при активной нагрузке.

Включение дросселя и конденсаторов (рис. 4) улучшает сглаживание пульсаций тока и напряжения. При этом $K_{Пг} = 0,85$, $K_{Пн} = 0,73$.

Таким образом, включение в электрическую схему индуктивности и емкости увеличивает мощность, передаваемую в цепь при активной нагрузке, и уменьшает пульсацию токов и напряжений. Аналогичное явление происходит при горении дуги, что улучшает процесс сварки на малых токах. На малых токах в атмосферных условиях возможна сварка графитовым стержнем диаметром 2,2 мм.

При питании дуги от однофазного выпрямителя с конденсаторным умножителем напряжения и индуктивностью сварочной цепи 1–1,5 мГн в аргоне и азоте формируются швы по отбортовке с толщиной изделия 0,06–0,2 мм. Образец из стали 1Х18Н9Т толщиной 0,2 мм, сваренный в азоте вольфрамовым электродом диаметром 1 мм, показан на рис. 5.

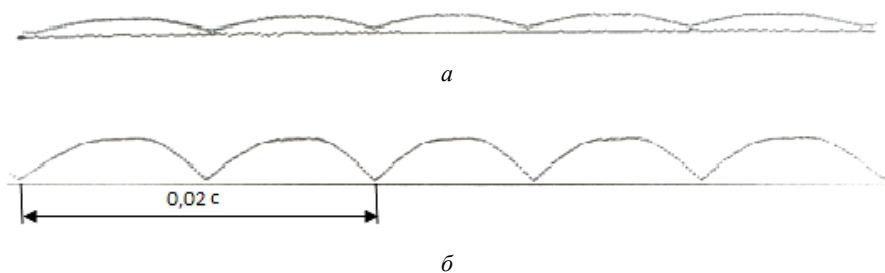


Рис. 1. Пульсации в отсутствии дросселя и конденсаторов ($I_1 = 1,6$ А):
а – тока, $I = 8,55$ А; б – напряжения, $U_d = 28,7$ В

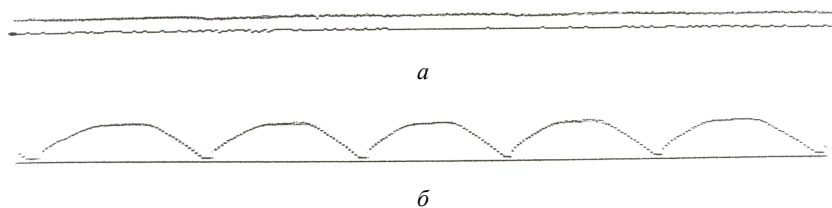


Рис. 2. Характер пульсаций в электрической цепи с дросселем ($I_1 = 1,52$ А):
а – тока, $I = 8,02$ А; б – напряжения, $U_d = 28,5$ В

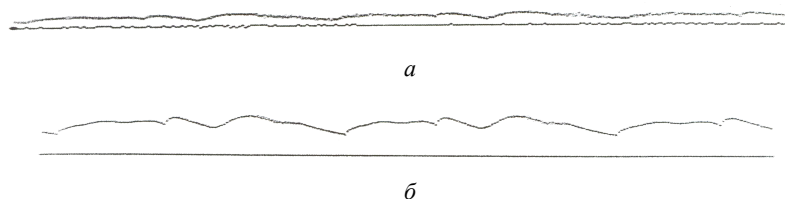


Рис. 3. Характер пульсаций в электрической цепи с конденсаторами ($I_1 = 3,23$ А):
а – тока, $I = 13,0$ А; б – напряжения, $U_d = 38,8$ В

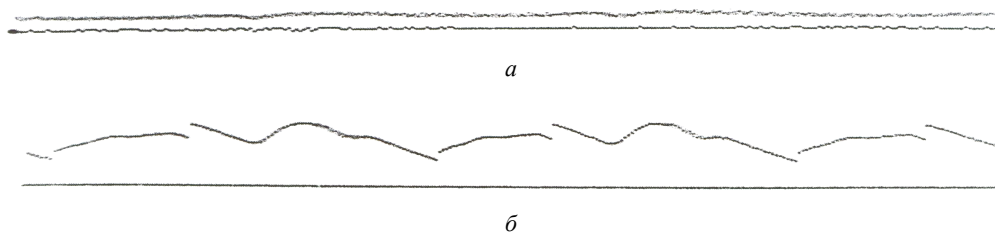
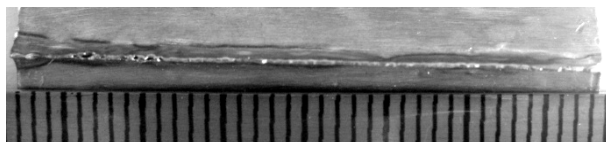


Рис. 4. Характер пульсаций в электрической цепи с дросселем и конденсаторами ($I_1 = 3,13$ А):
а – тока, $I = 12,75$ А; б – напряжения, $U_d = 38,5$ В



а



б

Рис. 5. Сварка с отбортовкой на режиме ($I_d = 3$ А, $U_d = 28$ В):
а – вид сверху, $I = 12,75$ А; б – в профиль

Образец из малоуглеродистой стали толщиной 0,1 мм, сваренный по отбортовке в аргоне, показан на рис. 6.

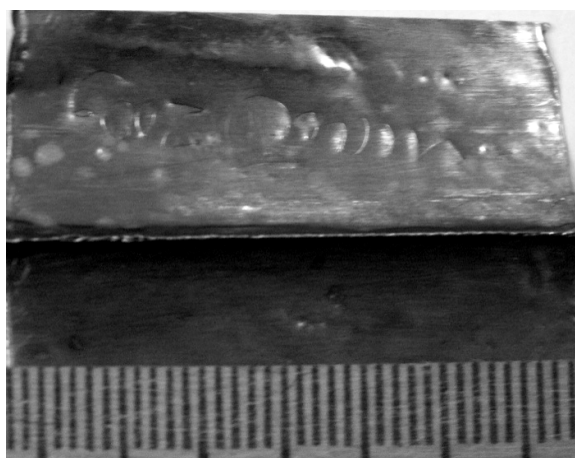


Рис. 6. Образец из малоуглеродистой стали толщиной 0,1 мм:
 $I_d = 4,5$ А, $U_d = 29$ В

Образец из малоуглеродистой стали толщиной 0,2 мм, сваренный по отбортовке графитовым стержнем диаметром 2,2 мм, представлен на рис. 7.

Совместное влияние индуктивности и емкости конденсаторов уменьшает пульсацию тока и напряжения на малых токах.

Вольфрамовым электродом диаметром 1 мм в аргоне и азоте обеспечивается формирование швов при сварке торцевых соединений толщиной 0,1–0,2 мм.

Возможна сварка по отбортовке электродом из графитового стержня диаметром 2,2 мм стали толщиной 0,2 мм.

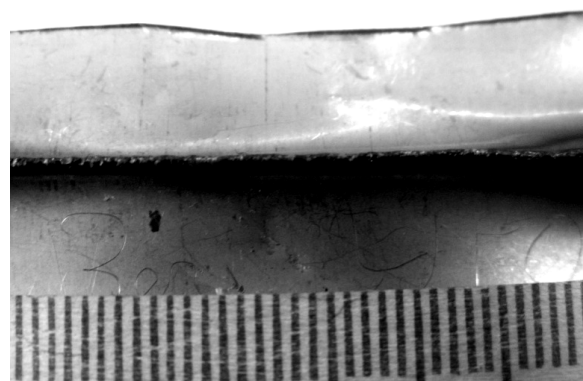


Рис. 7. Образец из малоуглеродистой стали толщиной 0,2 мм:
 $I_d = 5$ А, $U_d = 30$ В

Библиографические ссылки

1. Косович В. А., Лапин И. Е., Русол О. А. Технологические особенности сварки малоамперной дугой ультратонким вольфрамовым электродом // Сварочное производство. 1999. № 1. С. 15–17.
2. Мейстер Р. А., Мейстер А. Р. Особенности горения малоамперной дуги в защитных газах // Сварочное производство. 2006. № 7. С. 28–31.
3. Ковалев, Н. М. Некоторые способы стабилизации неустойчивых дуг неплавящимся катодом // Сварочное производство. 1973. № 6. С. 3–5.
4. Лапин И. Е. Повышение технологических свойств дуги при сварке неплавящимся электродом в инертных газах : автореф. дисс. ... докт. техн. наук : 05.03.06. Волгоград, 2004.
5. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга. М. : Машиностроение, 1970.
6. Кесаев, И. Г. Катодные процессы ртутной дуги и вопросы ее устойчивости. М. : Госэнергоиздат, 1961.

7. Столбов В. И. Сварочная ванна. Тольятти : ТГУ, 2007.

8. Пентегов И. В., Стемковский Е. П., Легостаев В. А. Модулирование сварочного тока при помощи индуктивных накопителей энергии // Автоматическая сварка. 1987. № 11. С. 35–40.

9. Запольских С. Н. Импульсные электромеханические системы с магнитными накопителями энергии : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.09.01. Екатеринбург. 2007.

10. Резанов Ю. К. Основы силовой преобразовательной техники. М. : Энергия, 1979.

R. A. Meister, M. A. Lubnin, S. A. Gotovko, A. R. Meister, A. N. Grigoryew

EVALUATION OF BURNING ARC STABILITY ON SMALL CURRENTS

Oscillogram's waveforms of voltages and currents are shown when connecting single-phase welding rectifier for resistive load. Ripple of current and voltage decreases when connecting capacitors and inductors, which allows to weld end connections with thickness of 0,1–0,2 mm.

Keywords: oscillography, current, voltage, thickness of 0,1–0,2 mm, tungsten inert gas welding (TIG).

© Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А., Мейстер А. Р., Григорьев А. Н., 2011

УДК 620.22:621.763

Э. М. Никифорова, Р. Г. Еромасов, В. Ю. Таскин, В. И. Аникина

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОРЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИНЕРАЛИЗАТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Приведены результаты исследований кинетических параметров спекания керамических масс в зависимости от реологических свойств минерализаторов.

Примененный метод определения кинетических параметров при двух неизотермических экспериментах позволил количественно оценить эффективность минерализаторов по энергии активации процесса спекания керамических масс с минерализующими добавками. Выявлен ряд активности минерализаторов, отражающий закономерность улучшения физико-механических свойств и снижения энергии активации со снижением вязкости и поверхностного натяжения.

Ключевые слова: спекание керамических материалов, уплотнение, температура спекания, вязкость, эвтектика.

Спекание керамических материалов характеризуется упрочнением и уплотнением материала (усадкой), определяющими важнейшие технические свойства продукта. Количество жидкой фазы, образующееся в суглинках, широко используемых в керамической технологии, весьма незначительно, и спекание в основном связано с реакциями в твердом состоянии. Интенсификация процесса спекания керамических масс путем использования минерализующих добавок является важным энергосберегающим решением, ускоряющим процессы формирования структуры черепка и повышающим качественные показатели изделий.

Активизирующее действие минерализаторов отмечено уже в процессах дегидратации глинистых минералов и далее – в процессе разрушения кристаллической решетки минералов и образования новых кристаллических фаз, эвтектик и расплавов. Под воздействием минерализаторов происходит повышение реакционной способности кремнезема (кварца) путем разрушения его кристаллической решетки, а также образования эвтектик между кремнеземом и минерализатором и соответствующих расплавов пониженной

вязкости и повышенной кристаллизационной способности.

Исследование изменения кинетических параметров спекания керамических масс в зависимости от реологических свойств минерализаторов позволяет обоснованно оценивать эффективность действия минерализаторов и активно воздействовать на свойства изделий.

Расчет кинетических параметров спекания осуществлялся дифференциальным методом неизотермической кинетики на основе исследований керамических масс в неизотермических условиях с различными темпами нагрева (5 и 10 град/мин) и регистрацией на дериватографе Ф. Паулик, И. Паулик и Д. Эрдей, с синхронизированной дилатометрической приставкой зависимостей относительной усадки и температуры от времени процесса спекания. Исследование динамической вязкости осуществлялось методом тела, вращающегося в расплаве на ротационном вискозиметре. Рентгенофазовый анализ исходных веществ и спеченных смесей осуществлялся на дифрактометре фирмы Shimadzu XRD-6000 [1–3].

До последних лет кинетические расчеты производили исключительно для изотермических условий, однако процессы химической технологии в большинстве случаев протекают в условиях переменной температуры, определяемой теплофизическими свойствами нагреваемых объектов и тепловым режимом технологического агрегата, в частности, в процессах спекания в керамической промышленности, где само понятие режима обжига предполагает изменение температуры во времени [4].

Поэтому определение кинетических констант по изотермической методике, созданной на основе феноменологической теории В. А. Ивенсена [5], связано с погрешностями, возникающими из-за периода нагрева образцов до температуры спекания, которые в ряде случаев могут быть значительными. Эти погрешности исключаются при использовании неизотермической методики [5], обладающей высокой удельной информативностью и гарантирующей работоспособностью кинетических параметров в исследованном диапазоне скоростей нагрева.

Последнее имеет существенное значение при расчете процессов спекания керамических материалов, протекающих в промышленных условиях, как правило, в неизотермических условиях [4] либо при их значительном влиянии. Кинетическое уравнение термически активируемых физико-химических процессов в достаточно общем виде представлено выражением:

$$Z' = KF,$$

где $Z' = \frac{dz}{d\tau}$ – скорость процесса; $K = K_0 T^m \exp(-\frac{E}{RT})$ – константа скорости процесса, выраженная модифицированным уравнением Аррениуса; $F = f(Z)$ – функция, вид которой зависит от механизма процесса; Z – параметр, изменение которого характеризует ход процесса (усадка, плотность материала, размер зерен, степень превращения и т. д.); τ – время; T – температура; E – энергия активации; K_0, m – константы, величины которых зависят от конкретного процесса; R – газовая постоянная. Величина m для механизма вязкого течения при спекании с жидкой фазой равна нулю [3].

С учетом уравнения Аррениуса кинетическое уравнение может быть записано в виде

$$Z' = K_0 \exp(-\frac{E}{RT}) F.$$

Исходным положением расчетов неизотермической кинетики является справедливость кинетического уравнения при произвольно изменяющейся во времени температуре $T = T(\tau)$, т. е. для неизотермических условий. Рассмотрены системы «полиминеральная глина – минерализующие добавки» с различными реологическими характеристиками в интервале спекания керамических масс: KCl, NaF, Na₂CO₃, Na₃AlF₆, BaCl₂, шламы алюминиевого производства с вязкостью $\eta = 0,70-4,9$ Па·с и стеклобой с вязкостью $\eta = 10^9-10^6$ Па·с. Содержание добавок соответствует

эквивалентному количеству (1 масс. % по катион-кислородному компоненту) минерализующего компонента в исследуемых массах 1–8 (табл. 1, рис. 1–3). Исследование керамических масс проводили на дериватографе, регистрируя зависимость $Z(\tau)$ (рис. 1), а также $T(\tau)$ (рис. 3).

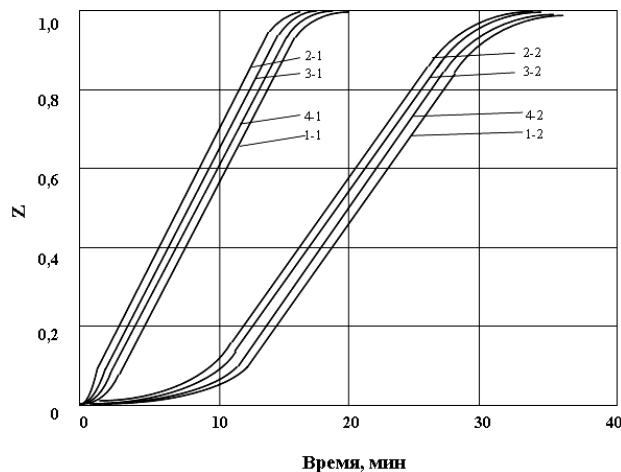


Рис. 1. Изменение относительной линейной усадки во времени для масс 1–4 при разных скоростях нагрева: 1–1, 2–1, 3–1, 4–1– скорость нагрева 10 град/мин; 1–2, 2–2, 3–2, 4–2– скорость нагрева 5 град/мин

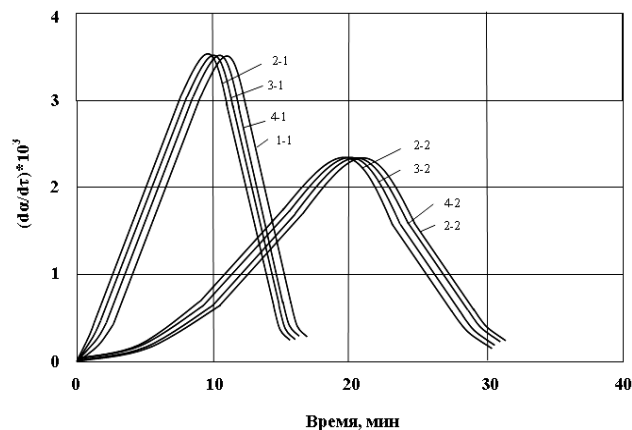


Рис. 2. Изменение скорости процесса спекания во времени для масс 1–4 при разных скоростях нагрева: 1–1, 2–1, 3–1, 4–1– скорость нагрева 10 град/мин; 1–2, 2–2, 3–2, 4–2– скорость нагрева 5 град/мин

Исходя из рассмотренных зависимостей, определена скорость процесса спекания Z' (рис. 2), фиксирующаяся в каждый момент времени:

$$Z'_1 = \left(\frac{dz}{d\tau}\right)_1 = K_1 F_1; K_1 = K_0 T^m \exp(-\frac{E}{RT_1});$$

$$Z'_2 = \left(\frac{dz}{d\tau}\right)_2 = K_2 F_2; K_2 = K_0 T^m \exp(-\frac{E}{RT_2}).$$

При условии $Z_1 = Z_2 = \dots Z_i$ и $F_1 = F_2 = \dots F_i$ система уравнений решается относительно E :

$$E = R \ln \frac{Z'_1}{Z'_2} \Big/ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}.$$

Рассчитанные по данному уравнению значения энергии активации спекания масс представлены в табл. 1. Действие на процесс спекания минерализующих добавок с различными реологическими характеристиками в исследованном температурном интервале прослежено по характеру изменения кинетических параметров, в частности, энергии активации и таких свойств, как прочность при сжатии и изгибе, водопоглощение, кажущаяся плотность, отражающих изменение структуры материала.

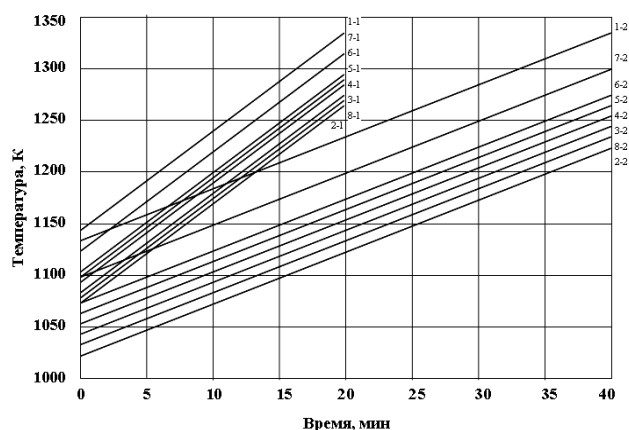


Рис. 3. Изменение температуры спекания во времени для масс 1–8 при разных скоростях нагрева: 1–1, 2–1, 3–1, 4–1, 5–1, 6–1, 7–1, 8–1 – скорость нагрева 10 град/мин; 1–2, 2–2, 3–2, 4–2, 5–2, 6–2, 7–2, 8–2 – скорость нагрева 5 град/мин

Процесс спекания как для чистой глины, так и с минерализующими добавками начинается на 25°–40° раньше при скорости нагрева 5 град/мин. Перевод начала спекания в область более низких температур связан также с действием минерализаторов. Так, добавка KCl приводит к снижению энергии активации процесса спекания на 52 % и температуры начала спекания на 85 °С, что связано с появлением в интервале температур 747–793 °С жидкой фазы из расплава минерализатора

(температура плавления KCl 768 °С). Более раннее начало спекания в массах с NaF объясняется появлением в интервале температур 795–827 °С жидкой фазы за счет эвтектических расплавов в системе NaF–CaCO₃. Это подтверждается снижением вязкости данной системы в целом, начиная с 810 °С, и достижением ее минимальных значений при 900 °С, а также эндотермическим эффектом при 810 °С, соответствующим появлению жидкой фазы. Начиная с 997 °С появление расплава происходит за счет плавления минерализатора.

Добавка шлама к гидрослюдисто-каолиновому суглинку Садового месторождения (Красноярский край) приводит к снижению энергии активации на 48 % и температуры начала спекания на 80 °С, соответствующей для этой массы 800 °С за счет эвтектических расплавов минерализующих компонентов как друг с другом, так и с компонентами шихты.

Так, CaF₂ образует при 810 °С эвтектику с NaF, криолит Na₃AlF₆ образует эвтектику с хиолитом Na₃Al₅F₁₈ при температуре 685 °С, а NaF образует эвтектику с CaCO₃ при 400–600 °С, что подтверждается снижением вязкости данной системы в целом, начиная с 805 °С, и достижением минимальных значений при 880 °С. Процесс снижения вязкости по температуре совпадает с интенсивным плавлением Na₂CO₃ и Na₂SO₄, содержащихся в шламе. Добавка стеклобоя снижает энергию активации на 14 % и температуру начала спекания на 27 °С, соответствующей для этой массы 855 °С.

Раннее начало спекания в массе, содержащей стеклобой, объясняется появлением жидкой фазы за счет дополнительных эвтектических расплавов щелочей стекла с компонентами шихты, что подтверждается снижением вязкости данной системы в целом, начиная с 860 °С, и достижением ее минимальных значений при 925 °С, а также эндотермическим эффектом на термограмме массы садовой глины со стеклобоем при 840 °С, соответствующим образованию жидкой фазы.

Таблица 1

Физико-технические свойства образцов на основе садовой глины

Номер массы	Содержание минерализатора, масс. %	Вязкость минерализатора в интервале спекания, Па·с	Энергия активации (средняя), кДж/моль	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Водопоглощение, %	Кажущаяся плотность, г/см ³
1	Без минерализатора	–	319,11	20,4	29,8	16,7	1,7
2	KCl – 0,8	0,83–0,70	152,09	39,8	60,5	14,0	1,98
3	NaF – 0,7	1,90	183,90	36,4	50,6	14,6	1,94
4	Na ₃ AlF ₆ – 3,4	2,83	207,17	32,5	42,7	14,9	1,90
5	Na ₂ CO ₃ – 1,7	4,10–3,20	216,53	30,8	40,4	14,9	1,88
6	BaCl ₂ – 1,4	3,70	230,35	30,0	36,6	14,9	1,87
7	Стеклобой – 6,6	10 ⁹ –10 ⁶	274,08	22,6	30,5	15,5	1,76
8	Шлам – 6,3	4,90–1,90	162,76	37,9	59,04	14,5	1,90

По активности своего воздействия на кинетические параметры спекания (рис. 1–3, табл. 1), в частности, на энергию активации, температуру начала спекания, а также на улучшение физико-технических свойств, рассмотренные минерализаторы могут быть расположены в следующий ряд (в скобках указана динамическая вязкость добавок при температуре спекания, Па·с): $KCl (0,83-0,70) > \text{шлам} (4,90-1,90) > NaF (1,90) > Na_3AlF_6 (2,83) > Na_2CO_3 (4,10-3,20) > BaCl_2 (3,70) > \text{стеклобой} (10^9-10^6)$.

Исходя из данного ряда, представляется возможным объяснить степень влияния минерализаторов на кинетические параметры спекания керамических масс и ее физико-механические свойства в зависимости от реологических свойств минерализаторов, в частности, их динамической вязкости и поверхностного натяжения в интервале температур спекания.

С увеличением вязкости и поверхностного натяжения расплава минерализатора уменьшается его влияние на улучшение физико-механических показателей спеченных масс, повышается энергия активации спекания и температура начала данного процесса. Так, энергия активации процесса спекания массы с KCl является минимальной (125 кДж/моль) при минимальной вязкости из числа исследованных минерализаторов $\eta_{KCl} = 0,7$ Па·с, а энергия активации массы со стеклобоем является максимальной (274 кДж/моль) при максимальной вязкости $\eta_{\text{стеклобой}} = 10^6-10^9$ Па·с.

Как следует из представленного ряда, действие шламов алюминиевого производства, содержащих в своем составе комплекс исследованных минерализаторов в виде NaF, Na_3AlF_6, Na_2CO_3 , более эффективно в сравнении с действием отдельных минерализаторов, что связано с образованием между минерализующими компонентами эвтектических расплавов с более низкой вязкостью ($\eta = 1,90$ Па·с).

Выявленные закономерности снижения энергии активации процессов спекания керамических масс с уменьшением вязкости минерализующего компонента были учтены при разработке составов и технологических параметров получения облицовочных керамических масс на основе кварцосодержащих отходов промышленности.

Для решения поставленных задач перспективным является направление по созданию стеклокристаллических структур, основанное на сочетании в керамической массе тугоплавкого или огнеупорного силикатного материала (наполнителя) и легкоплавкого компонента в комплексе с технологической связкой. Для создания каркасно-армированной и менее склонной к усадке и деформации структуры керамического материала целесообразно использование кварцосодержащего основного компонента. Качественные показатели облицовочных керамических материалов неразрывно связаны с их усадкой при обжиге, обуславливающей деформацию материалов в процессе спекания. Перспективным техногенным продуктом взамен традиционному кварцевому сырью являются кварц-полевощпатовые отходы Сорского молибденового комбината, минералогически представленные комплексом полезных соединений – кварца, полевых натриево-калиевых шпатов с соответствующей подшивочной глиной и разнообразными плавнями.

В процессе исследований выявлено, что область изменения соотношения SiO_2/Σ плавней находится в пределах 3–4 и менее. Химический состав исходных сырьевых материалов представлен в табл. 2.

Химический и вещественный состав шихт при различном соотношении SiO_2/Σ плавней представлен в табл. 3.

Высокое содержание стеклобоя как легкоплавкого компонента требует повышения его активности за счет снижения вязкости и поверхностного натяжения в интервале температур обжига керамики.

С учетом проведенных исследований наиболее перспективным выбрано направление использования комплексных минерализующих добавок, сочетающих в себе компоненты с низкой температурой размягчения (стеклобой) и низкой динамической вязкостью в интервале температур обжига керамики.

Результаты исследований реологических свойств комплексных добавок минерализаторов (рис. 4) свидетельствуют о возможности снижения температуры плавления расплава путем сочетания минерализующих добавок с различными реологическими свойствами.

Таблица 2

Химический состав исходных компонентов шихты

Наименование материала	SiO_2	$Al_2O_3 + TiO_2$	Fe_2O_3	$CaO + MgO_3$	$K_2O + Na_2O$	SO_3
Сорские «хвосты»	62,05	16,52	4,18	6,73	8,12	–
Стеклобой	71,45	2,34	0,18	10,26	29,28	0,19
Глина компановская	66,8	18,03	3,53	2,45	1,55	0,03

Таблица 3

Вещественный и химический состав шихты

Вещественный состав шихты	SiO_2	$Al_2O_3 + TiO_2$	Fe_2O_3	$CaO + MgO$	$K_2O + Na_2O$	SO_3
Шихта с соотношением SiO_2/Σ плавней 3,0 (55 % сорских «хвостов», 25 % стеклобоя, 18 % глины компановской, 2 % минерализатора по катионкислородному компоненту)	65,125	13,746	3,159	6,577	11,344	0,048

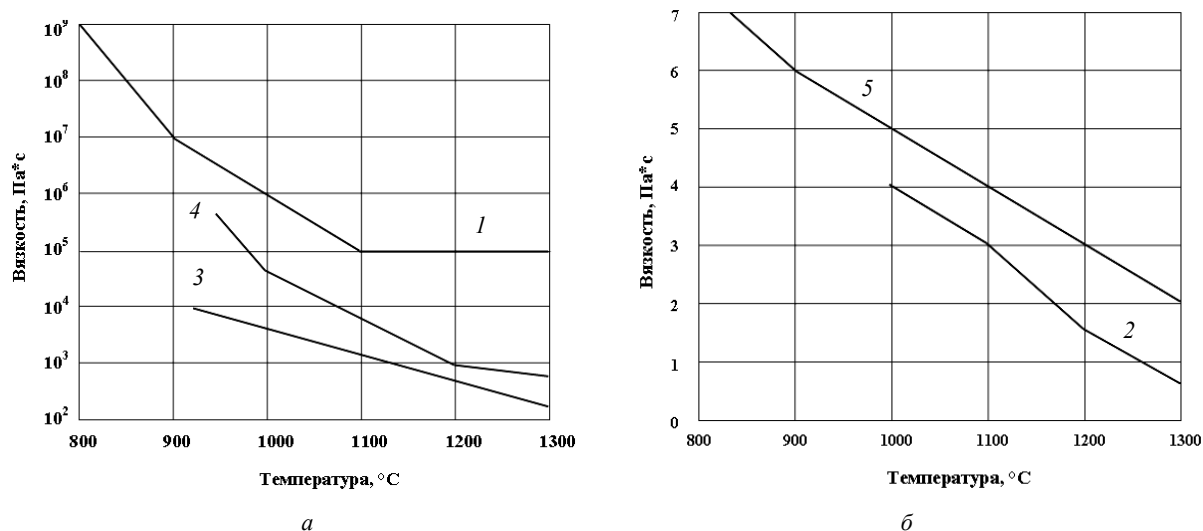


Рис. 4. Зависимость вязкости комплексной добавки «стеклобой – NaF» от температуры и состава (масс. %): а – 1 – стеклобой 100; 3 – стеклобой 50, NaF 50; 4 – стеклобой 75, NaF 25; б – 2 – NaF 100; 5 – стеклобой 25, NaF 75

Весьма эффективна комбинированная минерализующая добавка, сочетающая низковязкую добавку NaF ($\eta_{1000\text{ }^\circ\text{C}} = 2 \text{ Па}\cdot\text{с}$) и высоковязкую добавку стеклобой ($\eta_{800\text{ }^\circ\text{C}} = 10^9 \text{ Па}\cdot\text{с}$), образующая расплав при температуре на $130\text{ }^\circ\text{C}$ ниже температуры плавления NaF. В то же время вязкость комбинированного минерализатора приближается к вязкости NaF ($\eta_{870\text{ }^\circ\text{C}} = 4 \text{ Па}\cdot\text{с}$).

В соответствии с установленными закономерностями очевидна возможность активации отдельных высоковязких добавок, характеризующихся началом размягчения в области достаточно низких температур $575\text{--}875\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 2) (эрклез, борат кальция, стеклобой, фритта, цеолит) уже в данном температурном интервале.

Жидкая фаза, образующаяся в керамической массе с добавкой стеклобоя, ввиду высокой вязкости не обеспечивает полного охвата стеклофазой реагирующих компонентов шихты, в связи с чем для осуществления процесса спекания требуется значительно большая энергия активации (на $25\text{--}30\%$). Увеличение количества стеклодобавки для обеспечения наиболее полного охвата компонентов шихты приводит к резкому возрастанию между ними толщины стекловидной фазы и, как результат, уменьшению ее эластичности и механической прочности керамического черепка.

С введением минерализаторов фазовый состав спеченных образцов изменяется в основном за счет превращений кремнезема. Так, введение 2 масс. \% минерализующего компонента приводит к полному отсутствию в составе обожженных образцов кристобалита и значительному снижению содержания кварца. Механизм кварцевых превращений в кварцсодержащих облицовочных массах представляется следующим образом. В процессе нагревания опытных масс (табл. 3) при относительно низких температурах возможно образование жидкой фазы из расплавов минерализаторов и наиболее легкоплавких эвтектических смесей. Продукты распада глинистых минералов, находящиеся в тонкодисперсном состоянии, обладают большой удельной поверхностью соприкосно-

вения с расплавом. При этом расплавы низковязких минерализаторов обладают низкой вязкостью $0,60\text{--}3,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$ и поверхностным натяжением $(59\text{--}160)\cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, хорошей смачиваемостью относительно кремнезема и высокой растворимостью. Все это обуславливает интенсивное растворение свободного кварца, содержащегося в многокварцевых облицовочных массах в расплаве минерализатора, о чем свидетельствует значительное снижение рефлексов кварца $d/n = 0,334 \text{ нм}$. Избыточный аморфный кремнезем после муллитизации при обжиге керамических масс, в результате кристаллизации образующий основное количество кристобалита, также растворяется в расплаве, о чем свидетельствует существенное снижение рефлексов кристобалита, фиксирующееся пиком $d/n = 0,407 \text{ нм}$ [3; 6].

Таким образом, установлено, что для регулирования процесса спекания низкосортного глинистого сырья целесообразно введение в керамические массы количественно небольших минерализующих добавок, обладающих повышенной реакционной способностью за счет низковязких и высокоподвижных расплавов, обеспечивающих по всему объему образование тонких спаек между реагирующими компонентами шихты.

Примененный метод определения кинетических параметров при двух неизотермических экспериментах позволил количественно оценить эффективность минерализаторов по энергии активации процесса спекания керамических масс с минерализующими добавками.

Выявлен ряд активности минерализаторов, отражающий закономерность улучшения физико-механических свойств и снижения энергии активации со снижением вязкости и поверхностного натяжения.

Выявлены наиболее эффективные минерализующие добавки в виде KCl, NaF и шлама алюминиевого производства, обладающие низкой динамической вязкостью и поверхностным натяжением в температурном интервале спекания, что способствует их быстрому проникновению в глинистую массу благодаря капиллярности и пористости вещества, наиболее пол-

ному охвату всех компонентов шихты и, как следствие, снижению энергии активации на 40–50 %.

Как следует из представленных результатов исследований, применение дифференциального метода неизотермической кинетики при изучении кинетических параметров спекания керамических масс экспериментально подтвердило взаимосвязь энергии активации процесса спекания с реологическими характеристиками минерализаторов в интервале температур обжига керамики. Выявленные закономерности снижения энергии активации процесса спекания керамических масс с уменьшением вязкости минерализующего компонента позволяют осуществлять направленный выбор минерализаторов с целью регулирования физико-технических и эксплуатационных свойств керамических материалов широкой номенклатуры.

Библиографические ссылки

1. Никифорова Э. М. Минерализаторы в керамической промышленности : монография / ГУЦМиЗ. Красноярск, 2004.

2. Никифорова Э. М. Исследование параметров спекания глинистых систем с минерализующими добавками дифференциальным методом неизотермической кинетики // Эффективные строительные материалы на базе местного сырья : тр. / Красноярский Промстройиниипроект. Красноярск. 1989. С. 6–13.

3. Никифорова Э. М., Никифоров А. И. Влияние реологических свойств минерализаторов на процессы превращений кремнезема // Перспективные материалы : материалы Всерос. науч.-техн. конф. Вып. 7 / ГАЦМиЗ. Красноярск. 2001. С. 72–75.

4. Гропянов В. М., Аббакумов В. Г. Неизотермический метод исследований кинетики спекания материалов, контролируемый двумя механизмами // Порошковая металлургия. 1976. № 7. С. 36–41.

5. Ивенсон В. А. Кинетика уплотнения металлических порошков при спекании. М. : Металлургия, 1971.

6. Никифорова Э. М., Ефимов А. И. Эффективность действия минерализующих добавок // Строительные материалы. 1984. № 7. С. 24–25.

E. M. Nikiforova, R. G. Eromasov, V. Yu. Taskin, V. I. Anikina

INFLUENCE OF THERMORHEOLOGICAL PROPERTIES OF MINERALIZERS ON CERAMIC STRUCTURES FORMATION

The work contains results of study of kinetic parameters of ceramic mixtures sintering depending on rheological properties of mineralizers.

The applied method of defining of kinetic parameters in two non-isothermal experiments enabled to make quantitative assessment of mineralizers efficiency basing on the value of activation energy of sintering the ceramic mixtures with mineralizing additives. The study provided for compiling a sequence of mineralizers efficiency that reflects the pattern of physicomechanical properties improvement and activation energy reduction as the viscosity and surface tension decrease.

Keywords: sintering of ceramic materials, compaction, sintering temperature, viscosity, eutectics.

© Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Таскин В. Ю., Аникина В. И., 2011



РАЗДЕЛ
4



ЭКОНОМИКА



УДК 65.29

А. А. Бойко, Н. В. Бахмарева

**ИНСТРУМЕНТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Дается описание инструментов и методики построения процессно-ориентированного управления воспроизводством основных производственных фондов на предприятиях ракетно-космической промышленности.

Ключевые слова: цепочка создания ценности, система бизнес-процессов, система показателей, матрица ответственности.

Ракетно-космическая промышленность (РКП) является одной из ведущих отраслей оборонно-промышленного комплекса и промышленности России в целом. На сегодняшний день данная отрасль выступает как наиболее высокотехнологичная и инновационная сфера отечественной экономики, обеспечивающая России поддержание ее оборонной и экономической безопасности. Ракетно-космическая промышленность исторически создавалась как единая база для разработки, создания и производства ракетно-космической техники оборонного и гражданского назначения.

В настоящее время ракетно-космическая промышленность России переживает общие для всех отраслей оборонно-промышленного комплекса проблемы: неудовлетворительное состояние воспроизводства основных фондов, ослабление кадрового потенциала, устаревшие подходы к управлению, увеличение стоимости выпускаемой продукции, падение ее рентабельности и как следствие ухудшение общего финансового состояния.

В ракетно-космической промышленности особое значение имеют проблемы, связанные с состоянием воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ), высокий моральный и физический износ которых достиг критического уровня. Одной из главных причин, сдерживающих рост эффективности воспроизводства ОПФ, по мнению многих экспертов, являются устаревшие подходы к управлению воспроизводством ОПФ, не отвечающие современным требованиям инновационного развития предприятий РКП.

Новые возможности для развития системы управления воспроизводством ОПФ предприятий РКП открывает процессный подход к управлению организацией. Большинство специалистов сходятся во мнении, что переход от функционального управления к процессному требует применения комплекса специальных инструментов, которые позволяют построить прозрачную для руководства систему управления, способную гибко реагировать на изменения внешней среды; сформировать систему показателей управления бизнес-процессами воспроизводства ОПФ; направить систему на постоянное повышение эффективности и результативности воспроизводства ОПФ; обеспечить максимальный учет интересов потребителей;

реализовать в организации системного подхода в соответствии с требованиями ИСО 9001 [1].

Изучение теоретических основ процессно-ориентированного управления позволило определить следующий комплекс инструментов: схему цепочек создания ценности (ЦЦ); систему бизнес-процессов (СБП); матрицу распределения административных задач управления (РАЗУ); систему показателей управления (СПУ). Анализ представленных инструментов позволил сделать вывод, что данные инструменты не могут быть применимы без дополнительной переработки для построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ предприятий РКП, так как они отражают общие приемы и способы действий, не учитывают особенностей процесса воспроизводства ОПФ предприятий РКП и требований к управлению данной сферой деятельности.

Для разработки инструментов построения процессно-ориентированного управления вначале были сформулированы методические принципы их создания (см. таблицу).

Предложенные принципы создают методическую основу для разработки инструментов построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ предприятий ракетно-космической промышленности. В соответствии с предложенными принципами был разработан комплекс инструментов построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ.

Первым инструментом из этого комплекса является схема цепочки создания ценности воспроизводства ОПФ в рамках жизненного цикла (ЖЦ).

В 1980 г. Майклом Портером была предложена концепция цепочки создания ценности, в основе которой лежал взгляд на организационную деятельность как на согласованный набор видов деятельности, создающий ценность для предприятия, начиная с исходных источников сырья для поставщиков данного предприятия вплоть до готовой продукции, доставленной конечному пользователю и способной увязывать создаваемую на основе процессного подхода систему управления со стратегией организации.

В соответствии с общей методикой построения цепочки создания ценности схема строится на двух уровнях.

Принципы построения инструментов процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ

Инструмент	Принципы построения инструментов
Цепочка создания ценности (ЦСЦ)	Учет стадий жизненного цикла основных фондов. Разделение форм воспроизводства ОПФ. Отражение обратной связи. Обязательности прохождения основными фондами полного цикла воспроизводства ОПФ
Система бизнес-процессов (СБП)	Учет стадий кругооборота ОПФ в рамках предприятия. Учет разделения форм воспроизводства ОПФ. Отражение основных и вспомогательных бизнес-процессов
Матрица разделения административных задач управления (РАЗУ)	Комплексности. Интеграции задач управления. Единства действий. Необходимости содержания избыточных мобилизационных мощностей
Система показателей управления (СПУ)	Приоритетной направленности. Стратегической направленности. Операционной результативности и эффективности управления. Удовлетворенности потребителей. Процессной ориентации. Сбалансированности

На верхнем уровне ее границы должны совпадать с жизненным циклом основных фондов. Схемы ЦСЦ воспроизводства ОПФ по стадиям их ЖЦ позволяют расширить представление о фактических масштабах воспроизводства основных фондов как в рамках предприятия, так и за его пределами, а также принимать управленческие решения по реорганизации процесса в целом в зависимости от факторов, оказывающих на него влияние.

На втором уровне разработка схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ ограничивается рамками кругооборота ОПФ предприятия. В соответствии с этим был определен набор бизнес-процессов воспроизводства ОПФ по стадиям кругооборота основных производственных фондов предприятия. Обстоятельство двойственности форм кругооборота – натуральной и стоимостной – обусловило целесообразность одновременного построения двух схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ второго уровня [2]. Результатом построения схем цепочек создания ценности воспроизводства ОПФ является четкая и структурированная картина бизнес-процессов воспроизводства основных фондов предприятия.

Разработанные схемы ЦСЦ первого и второго уровня позволили идентифицировать бизнес-процессы натуральной и стоимостной формы воспроизводства основных фондов предприятия и послужили базой для построения типовой структурно-функциональной модели системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ.

Следующим инструментом является система бизнес-процессов воспроизводством ОПФ предприятия. Система бизнес-процессов воспроизводства ОПФ предприятия показывает основные и вспомогательные бизнес-процессы воспроизводства ОПФ, устанавливает взаимосвязь между ними, а также определяет структурные подразделения, выполняющие эти бизнес-процессы. Система бизнес-процессов служит основой для построения матрицы ответственности и системы показателей управления бизнес-процессами.

Третьим инструментом построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятиях ракетно-космической промышленности является матрица разделения административных задач управления (РАЗУ), которая позволяет: установить ответственность исполнителей и руководителей за совокупность работ по бизнес-процессам организации; позволяет согласовать структуру процессов организации с организационной структурой управления; способствует выявлению зон безответственности, устранению фрагментарности управления как при выполнении отдельных процессов организации, так и на межфункциональном уровне.

Матрица РАЗУ охватывает весь необходимый комплекс задач управления воспроизводством ОПФ, распределенных по стадиям кругооборота основных фондов, и отражает подразделения, ответственные за выполнение этих задач. Перечень задач, решаемых в структурных подразделениях, был составлен в соответствии с типовыми должностными инструкциями подразделений предприятий РКП. Сформированная матрица РАЗУ свидетельствует о том, что обеспечить комплекс задач решаемых в структурных подразделениях, участвующих в управлении этим процессом подразделения, способны при выполнении 360 функций управления.

Для осуществления эффективного управления воспроизводством ОПФ необходимо разработать систему показателей управления. Существующая в данный момент система показателей управления основными фондами на предприятиях РКП не отвечает в полной мере требованиям процессно-ориентированного управления: система показателей привязана к подразделениям, а не к процессам; нет четкого разделения показателей по уровням управления; не отслеживается результативность и эффективность бизнес-процессов.

Разработанная комплексная система показателей управления процессами (СПУ) имеет следующие особенности: показатели данной системы распределены

по формам воспроизводства ОПФ, по уровням управления и бизнес-процессам. Показатели каждой формы воспроизводства разбиты на три группы показателей: индикативные, стратегические и операционные.

В первую группу отнесены индикативные показатели, назначение которых заключается в формировании общей картины изменений в сфере воспроизводства и общей характеристике достижений стратегических целей управления. Ценность включения данных показателей в общую систему заключается в том, что они выступают в качестве ориентира для последующей детализации управления и выявления причин изменений в уровне эффективности управления воспроизводством ОПФ.

Стратегические показатели – это те показатели, которые непосредственно характеризуют достижение стратегических целей воспроизводства основных фондов, т. е. ориентированы на стратегию развития предприятия.

С помощью операционных показателей управления проводится анализ отдельных процессов воспроизводства ОПФ, рассчитывается их эффективность и результативность управления и с их помощью принимаются конкретные управленческие решения по функционированию данных процессов.

Разработанная система показателей управления воспроизводством ОПФ позволяет оценить эффективность развития данного процесса, изучать его изменения в динамике и контролировать его ход. Каждая группа показателей в общей ее системе призвана дать как отдельную оценку каждому уровню управления, так и представить общую картину деятельности этой сферы с целью выявления скрытых резервов.

Таким образом, основываясь на сформированных принципах построения и учитывая особенности воспроизводства ОПФ на предприятиях РКП, были разработаны инструменты, позволяющие провести преобразовательные процессы в организации и осуществить переход от функционального подхода к управлению воспроизводством ОПФ предприятия к процессно-ориентированному управлению. Разработанные инструменты процессно-ориентированного управления являются готовыми типовыми шаблонами, главное назначение которых – обеспечение методического единства их применения при построении процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ. Алгоритм методики построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП на основе разработанного комплекса инструментов, представлен на рисунке.

На *первом этапе* – подготовительном – проводится формирование рабочей группы и обучение руководства и персонала организации основам процессного подхода. Рабочая группа формируется из компетентных специалистов подразделений, участвующих в управлении основными фондами. Результат данного этапа – план построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятии.

Второй этап – разработка схем цепочек создания ценности (ЦСЦ) воспроизводства ОПФ.

Основная задача разработки схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ заключается, в первую очередь, в общем представлении процесса воспроизводства ОПФ с высокой степенью агрегации для определения границ бизнес-процессов и представления основных системообразующих связей. В помощь рабочей группе предлагается разработанный методический инструмент, позволяющий облегчить построение схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ. Данный методический инструмент состоит из двух частей (схем ЦСЦ воспроизводства первого и второго уровня). Далее проводится оценка возможности применения типовых схем без их корректировки. Если схемы ЦСЦ не подходят для данного предприятия в предлагаемом виде, то их корректируют с учетом его особенностей.

Третий этап – построение системы бизнес-процессов (СБП) воспроизводства ОПФ.

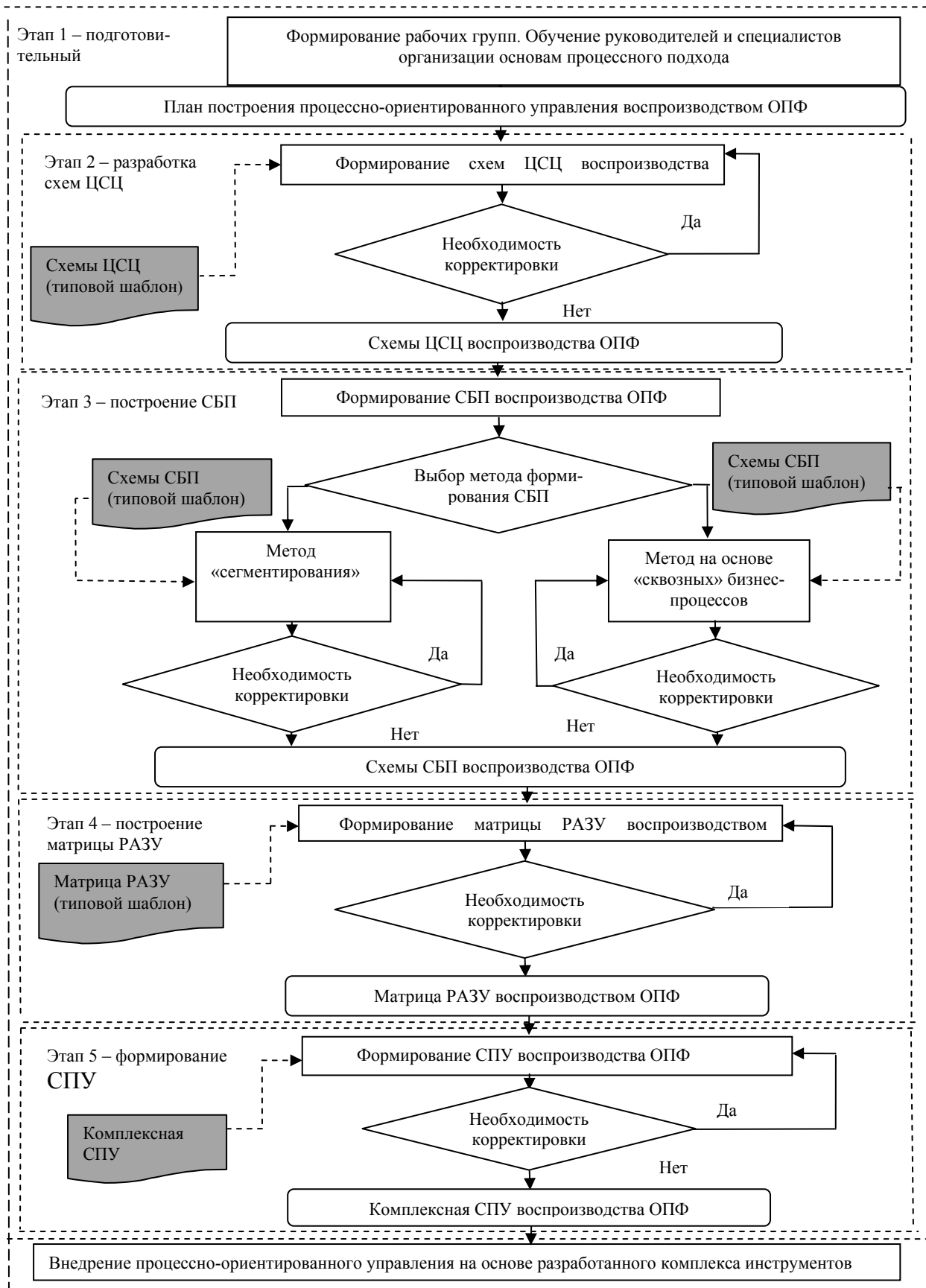
После разработки схем ЦСЦ первых двух уровней управления процессом воспроизводства ОПФ начинается построение системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ. Для этого сначала проводится выбор метода формирования системы бизнес-процессов. Метод «сегментирования» не предполагает коренных перестроек на предприятии. Сначала выделяются, классифицируются и описываются бизнес-процессы в рамках существующей структуры управления. После этого постепенно осуществляется переход к процессной структуре управления. Метод на основе «сквозных» бизнес-процессов предполагает проведение описания последовательности выполняемых работ без закрепления за подразделениями предприятия. Затем формализованные «сквозные» бизнес-процессы вписываются в новую организационную структуру, построенную на процессном подходе к управлению. Далее проводится оценка возможности применения типовой системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ без ее корректировки.

Если инструмент не подходит для данного предприятия, то в предлагаемом виде проводят его корректировку. Результатом данного этапа является построенная система бизнес-процессов воспроизводства ОПФ предприятия.

Четвертый этап – построение матрицы РАЗУ.

Цель данной работы – представить полную совокупность задач управления воспроизводством ОПФ и на этой основе разработать организационное обеспечение сферы воспроизводства ОПФ, позволяющее провести комплексную координацию деятельности, распределить обязанности и закрепить ответственность за соответствующими структурными подразделениями предприятия РКП, а также установить ответственность за достижение целей управления и обеспечить их комплексную реализацию. Далее производится оценка необходимости корректировки. Результатом данного этапа является построенная матрица РАЗУ воспроизводством ОПФ предприятия.

Пятый этап – формирование комплексной системы показателей управления процессом воспроизводства ОПФ.



Алгоритм методики построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на предприятиях РКП на основе разработанного комплекса инструментов

Для формирования данного инструмента на предприятии рабочая группа принимает за основу предложенную систему показателей управления воспроизводством ОПФ. Далее проводится оценка возможности использования типовой системы показателей управления воспроизводством ОПФ без ее корректировки. Если система показателей учитывает особенности управления данной сферы, то инструмент считается сформированным.

После разработки инструментов осуществляется их внедрение для проведения изменений в управлении данным процессом и начинается работа по разработке и введению в действие регламентов подразделений и бизнес-процессов.

Для апробации предложенной методики построения процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ на основе комплекса инструментов в качестве примера было взято предприятие, занимающее одно из ведущих мест в отрасли производства ракетно-космической техники ОАО «Красмаш». На основе предложенных инструментов были разработаны схемы ЦСЦ по стадиям жизненного цикла, стадиям кругооборота и формам воспроизводства ОПФ, что позволило расширить представление о фактических масштабах и содержании движения основных фондов, а также выявить связи между стадиями жизненного цикла, этапами кругооборота ОПФ и проблемы, возникающие в процессе управления воспроизводством ОПФ на стратегическом уровне. Далее, следуя алгоритму методики, на основе метода «сегментирования» была построена СБП воспроизводства ОПФ на предприятии, базирующаяся на схемах ЦСЦ, что позволило детализировать бизнес-процессы, установить последовательность их выполнения и определить структурные подразделения, отвечающие за эффективность их выполнения. В результате сравнения существующей

матрицы ответственности с предложенной матрицей РАЗУ было выявлено, что из 360 необходимых функций управления воспроизводством ОПФ на предприятии реально выполняется 229, что снижает уровень организационного обеспечения необходимых задач управления на 40 %. При этом было установлено дублирование функций управления на стадиях привлечения и использования.

Предложенная комплексная система показателей управления воспроизводством ОПФ, привязанная к бизнес-процессам и оценивающая состояние и эффективность развития данного процесса по стадиям его кругооборота и формам была принята рабочей группой для ее адаптации и проверки эффективности по сравнению с действующей, привязанной к подразделениям.

Таким образом, применение предложенных инструментов позволяет осуществить переход на процессно-ориентированное управление, обеспечить инновационное развитие и создание интегрированной структуры управления воспроизводством ОПФ.

Библиографические ссылки

1. Репин В. В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация. М. : РИА «Стандарты и качество», 2007.
2. Бахмарева Н. В. Теоретические основы процессной модели управления воспроизводством основных производственных фондов машиностроительных предприятий с учетом их особенностей // Человеческие ресурсы и управление бизнес-процессами в современных социально-экономических системах: тенденции, проблемы и перспективы : сб. науч. тр. Всеросс. науч.-практ. конф. М. : Цент приклад. науч. исслед., 2010. С. 124–135.

A. A. Boiko, N. V. Bahmareva

TOOLS FOR DEVELOPMENT OF THE PROCESS-ORIENTED MANAGEMENT OF REPRODUCTION OF FIXED CAPITAL OF ENTERPRISES OF THE SPACE-ROCKET INDUSTRY

The article describes tools and technique of construction of process-oriented management by reproduction of the basic production capital funds at the enterprises of the space-rocket industry is given.

Keywords: Chain of creation of value, system of business processes, system of indicators, responsibility matrix.

© Бойко А. А., Бахмарева Н. В., 2011

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОДУКТОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрены методологические основы функционирования учреждения профессионального образования на рынке услуг профессионального образования и в сфере потребления конечного продукта его деятельности (выпускника).

Ключевые слова: учреждение профессионального образования, услуга профессионального образования, выпускник.

Развитие самостоятельности учреждения профессионального образования (далее – УПО), быстро меняющиеся реалии сферы образования, изменение параметров экономического развития России приводят УПО к осознанию необходимости учета изменения параметров внешней среды в реализации собственной стратегии развития. Уникальность позиции УПО, как субъекта системы профессионального образования, во внешней среде предопределяется особенностью его активного функционирования сразу в двух рыночных структурах: рынке услуг профессионального образования (предоставление услуги профессионального образования потребителям) и в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО – выпускника (в экономике). От того, насколько гибко и обоснованно УПО будет организовывать свою деятельность с учетом пропорций, динамик и перспектив развития этих рыночных структур, будет зависеть и успешность его функционирования в рыночной среде посредством эффективного потребления продуктов его деятельности. Следует отметить, что уже проявившиеся в настоящее время тенденции дисбаланса, сформировавшегося между рынком услуг профессионального образования (далее – РУПО) и сферой потребления конечного продукта деятельности УПО, не были учтены УПО в более ранние периоды, что привело к перепроизводствуготавливаемых ими специалистов. Лишь 48–49 % выпускников вузов, окончивших очные отделения получают направление на работу [1]. Связь РУПО со сферой потребления конечного продукта деятельности УПО является слабой и недостаточной для эффективного образовательного процесса. Начавшийся в России с 2008 г. финансово-экономический кризис усилил дисбаланс между образовательной сферой и сферой потребления ее конечного продукта.

В рамках нашего исследования мы акцентируем подход на реализацию стратегии функционирования и развития УПО с помощью повышения эффективности использования рыночных инструментов в системе профессионального образования с целью результативного взаимодействия её со сферой потребления конечного продукта деятельности УПО. При формировании нашей позиции были рассмотрены проблемы позиционирования и особенности деятельности учреждения профессионального образования на «рынке образовательных услуг», которые исследовались авторами А. П. Егоршиным, М. А. Лукашенко,

В. П. Щетининым, Ш. М. Алиевым, Г. А. Павлюкович, В. Н. Васильевым, В. А. Гуртовым, Е. А. Петухиным, М. Н. Рудаковым, Л. М. Серовой, С. В. Сиговой, А. П. Панкрухиным, К. А. Сагиновым, О. В. Сагиновой, О. Ю. Белаш, О. В. Митасовой и др. Большинство авторов рассматривают в качестве основного продукта деятельности УПО – услугу профессионального образования (далее – ОУ), реализуемую в рамках рынка услуг профессионального образования, что, на наш взгляд, является лишь отчасти верно, так как такая позиция делает процесс потребления образовательной услуги не в полной мере эффективным.

УПО в своей деятельности производит два продукта – услугу профессионального образования и «конечный продукт» – выпускника, опосредованно в двух структурах, а именно в системе профессионального образования (рынке услуг профессионального образования) и в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО. В рамках исследования был уточнен и дополнен понятийный аппарат в сфере рынка услуг профессионального образования.

Сферу, где реализуется ОУ, мы определили как рынок услуг профессионального образования (РУПО), под которым будем понимать сферу производства, продвижения, реализации и потребления ОУ, а также сферу производства «конечного продукта» УПО – выпускника. Вторая структура, с которой взаимодействует УПО – сфера потребления конечного продукта деятельности УПО, в которую выпускник продвигается самостоятельно, с помощью УПО или других посредников. Таким образом, представленная трактовка понятия РУПО отражает наш подход к взаимоувязыванию двух рыночных структур: РУПО и сферы потребления конечного продукта деятельности УПО.

Рассмотрим вторую структуру, с которой взаимодействует УПО в своей деятельности, – сферу потребления конечного продукта деятельности УПО (выпускника). Ее субъектов (работодателей) можно подразделить на следующие три группы:

1) субъекты экономики, сотрудничающие с УПО, что закреплено юридически на договорной, контрактной основе и т. п. Такими формами сотрудничества могут быть организация практики студентов, занятий и семинаров от предприятий, целевая подготовка, целевая контрактная подготовка, целевой заказ территорий, дипломное, курсовое проектирование по заказу территорий, организаций, предприятий, участие в ГАК, ГЭК, корректировка параметров услуги профессионального образования;

2) субъекты экономики, сотрудничающие с УПО, что не закреплено юридически. Такой формой сотрудничества могут быть ярмарки вакансий, организация прочих вербальных коммуникаций, информирование о вакансиях;

3) субъекты экономики, не сотрудничающие с УПО.

Данные субъекты являются потребителями конечного продукта деятельности УПО – выпускников – носителей результата потребления ОУ. Специфика услуги профессионального образования состоит в том, что она не имеет ценности без ее носителя, поэтому выпускников и ОУ, на наш взгляд, следует рассматривать как взаимосвязанные и взаимозависимые элементы. В какой-то степени вышеприведенные субъекты сферы потребления конечного продукта деятельности УПО также являются потребителями ОУ, но косвенно, потребляя преобразованную посредством способностей выпускника ОУ через договор найма. Исходя из наших рассуждений, студент есть непосредственный потребитель ОУ, назовем его прямой первичный потребитель ОУ. Субъекты сферы потребления конечного продукта деятельности УПО (работодатели) являются потребителями ОУ «на выходе», назовем их вторичными косвенными потребителями ОУ. Стоит заметить, что степень участия вторичных косвенных потребителей ОУ в процессе реализации потребления ОУ различна. Поэтому ранее мы разделили их на 3 группы по степени участия в образовательном процессе.

Итак, представим нашу точку зрения относительно содержания понятия «потребитель ОУ». По сфере потребления ОУ будем различать ее потребителей:

1. На РУПО:

а) *потенциальные на стадии «входа»* – это потенциальные абитуриенты УПО: школьники, среди которых специалистами УПО проводится профориентиро-

вание; слушатели подготовительных курсов; выпускники УПО, так как потребность в образовании, как уже отмечалось, может возрасти и после ее удовлетворения; широкий круг личностей, включая абитуриентов, проходящих вступительные испытания;

б) *первичные потребители ОУ*. Это фактические потребители ОУ. Среди них можно выделить тех, кто непосредственно потребляет ОУ, т. е. первичных прямых. А также тех, кто опосредованно принимает участие в потреблении (семьи, организации, предприятия, которые оплачивают обучение студентов, государство):

– *первичные прямые потребители ОУ;*

– *первичные косвенные потребители ОУ.*

2. В сфере потребления конечного продукта деятельности УПО опосредованно через договор найма о потреблении конечного продукта деятельности УПО между выпускником и субъектом экономики. Это субъекты сферы потребления конечного продукта деятельности УПО (работодатели), т. е. вторичные косвенные потребители ОУ.

Свое видение процессов взаимодействия системы профессионального образования (РУПО) и сферы потребления конечного продукта деятельности УПО, а также процессов потребления ОУ мы представили на рис. 1.

Потенциальный потребитель ОУ на «входе» (абитуриент), принимая решение о получении профессионального образования и поступая в УПО, становится первичным прямым потребителем ОУ. В результате полного потребления ОУ УПО представляет свой второй продукт – выпускника в сфере его потребления (экономике). Когда он реализует результаты потребленной им ОУ (трудоустраивается), то потребителем этих результатов косвенно становится субъект экономики (работодатель).

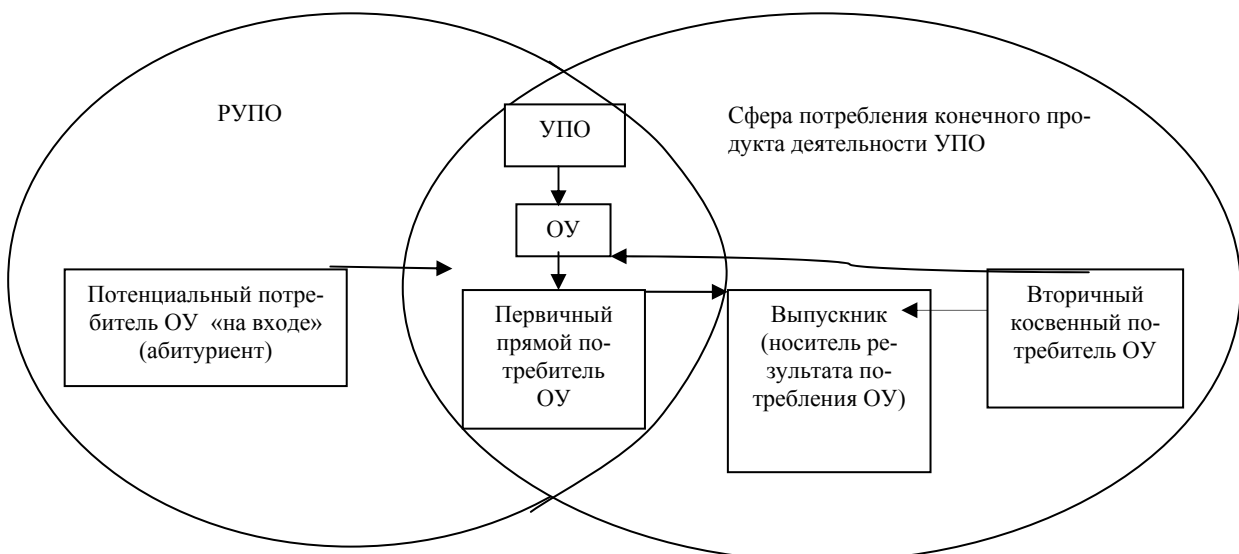


Рис. 1. УПО в сегменте взаимодействия РУПО и сферы потребления конечного продукта деятельности УПО (выпускника)

Однако стоит заметить, что данные потребители не являются субъектами РУПО и могут никак не проявлять себя в сегменте взаимодействия системы профессионального образования и сферы потребления конечного продукта деятельности УПО. Коммуникация может происходить непосредственно с выпускником, который предлагает свои способности к труду (сформированные компетенции) субъекта экономики. При усилении взаимодействия системы профессионального образования и сферы потребления конечного продукта деятельности УПО, что будет являться результатом повышения эффективности использования рыночных инструментов в системе профессионального образования, необходимо, чтобы вторичные косвенные потребители как можно активнее внедрялись на РУПО и являлись бы его полноправными субъектами.

Под термином «услуга профессионального образования» (ОУ) мы понимаем вид деятельности, нацеленный на изменение образовательного уровня и профессиональной подготовки потребителя, обеспеченный соответствующими ресурсами УПО. В ходе исследований были дополнены характеристики образовательной услуги, как продукта УПО, заключающиеся в следующем: по критерию мотива потребления услуги ее можно отнести к услугам, предназначенным для удовлетворения личных и общественных нужд; услуга предоставляется людьми; достаточно продолжительный период предоставления данной услуги; зависимость качества усвоения услуги не только от профессионализма преподавателя, но и от личностных и интеллектуальных данных студента; насущная потребность в данной услуге наблюдается практически у всех людей; ОУ не имеет возрастных границ; услуга потребляется частично; сезонность спроса на услугу. Одним из важнейших показателей качества услуги профессионального образования мы считаем востребованность выпускника, потребившего данную услугу, субъектами экономики.

Качество предоставленной услуги после завершения процесса обучения оценивается в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО. Именно этот этап является, на наш взгляд, первостепенным в определении качества услуги профессионального образования. Если выпускник, потребивший услугу, остался не востребован субъектами экономики, следовательно, данную услугу, на наш взгляд, нельзя считать качественной. В соответствии с законом «О защите прав потребителя» [2], недостатком услуги является несоответствие её целям, для которых услуга такого рода обычно используется. Применение услуги образования – это факт реализации результата потребления ОУ (трудоустройства) выпускником УПО по полученной специальности. Следовательно, согласно закону, реализация результата потребления выпускником не по специальности либо нереализация вообще, говорят о том, что услуга не соответствует целям и в ней наблюдается недостаток. Поэтому невостребованная услуга у вторичного косвенного потребителя – некачественная.

Обозначенный на рис. 1 сегмент взаимодействия представляет собой пространство, в рамках которого на основе эффективного использования рыночных инструментов (с точки зрения показателей эффективности) должна формироваться конкурентоспособность УПО. Процесс формирования конкурентоспособности УПО имеет неоднозначный характер и должен рассматриваться, по нашему мнению, в контексте вышеобозначенного подхода к трактовке двух продуктов деятельности УПО. Представим свое видение модели конкурентоспособности УПО на рис. 2.

Специфика этого процесса в том, что конкурентоспособность выпускника формируется в системе профессионального образования на РУПО в процессе первичного потребления ОУ, а реализуется и оценивается с точки зрения субъектов сферы его потребления в экономике.

Основные элементы, которые формируют конкурентоспособность УПО, взаимосвязаны между собой – это два блока свойств ОУ, характеризующие качество ОУ (рис. 2), конкурентоспособность выпускников в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО и как следствие, положительный имидж в глазах субъектов сферы потребления конечного продукта деятельности УПО. Как уже отмечалось ранее, на наш взгляд, важнейшим параметром качества ОУ является востребованность результата ее потребления среди субъектов экономики. Поэтому, первый блок свойств ОУ – востребованность данной ОУ у вторичного косвенного потребителя, т. е. подготовка выпускника в соответствии с кадровыми потребностями экономики.

Второй блок свойств ОУ состоит из многих критериев, таких как, например, профессорско-преподавательский состав, материально-техническая база, научная деятельность УПО, качество ОУ, полнота и разнообразность ассортимента ОУ.

Со стороны сферы потребления конечного продукта деятельности УПО критерий положительного имиджа в глазах работодателей и общественности оказывает двоякое действие. С одной стороны, такой имидж создают высококонкурентные выпускники, полностью удовлетворяя потребности субъектов экономики. А затем уже этот имидж выпускников оказывает значительное влияние на конкурентоспособность УПО, тем самым привлекая все больше новых потенциальных потребителей ОУ на стадии «входа» и создавая предпосылки для успешной реализации выпускниками результата потребления ОУ.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что конкурентоспособность выпускника является составляющим элементом конкурентоспособности того УПО, где он обучался.

Методологически важно определить основные элементы реализации процесса повышения конкурентоспособности УПО посредством повышения конкурентоспособности его выпускников.

В проведенном исследовании были выделены основные направления для привлечения выпускников к рыночной составляющей деятельности УПО повышение конкурентоспособности УПО на РУПО;

сотрудничество выпускников прошлых лет с УПО в сферах повышения качества образовательного процесса, социологических исследований; сотрудничество выпускников прошлых лет с УПО в вопросах, касающихся информирования студентов о вакансиях, предприятиях в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО; продвижение выпускников в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО.

В работе конечный продукт деятельности УПО – выпускник – рассматривался нами с позиций различных временных отрезков относительно времени окончания УПО. Здесь мы указываем категорию «выпуск-

ники прошлых лет», так как предполагаем, что они уже частично или полностью адаптировались в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО и имеют опыт работы в своей сфере.

Однако и выпускники 1-го года могут быть привлечены к сотрудничеству в рыночной составляющей деятельности УПО в том случае, если они уже имеют опыт работы, заинтересованы в поддержке связи с УПО.

Рассматривая категорию «выпускник», думается уместным проследить логическую цепочку влияния их имиджа на мнение абитуриентов об УПО (рис. 3).

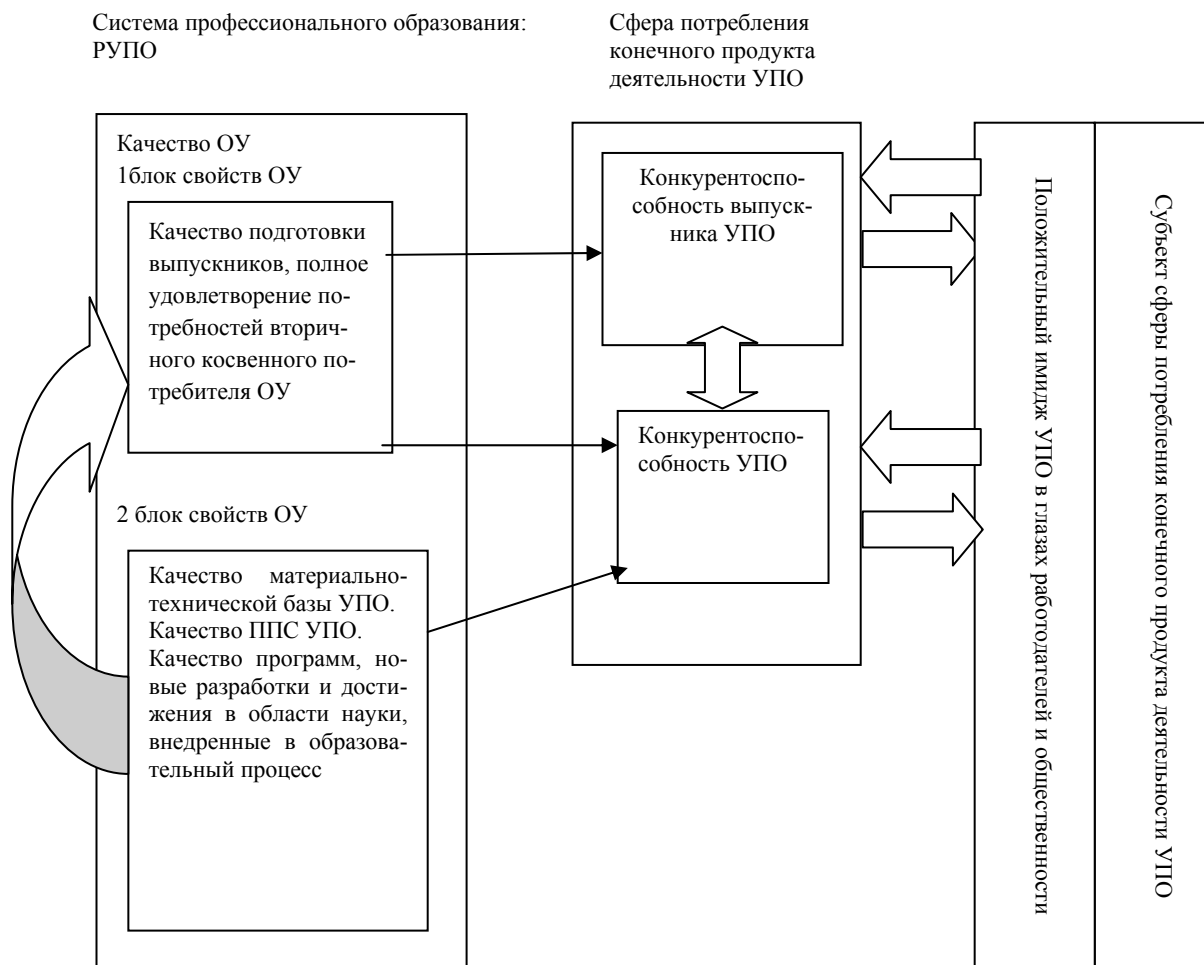


Рис. 2. Взаимосвязь конкурентоспособности УПО и конкурентоспособности выпускника

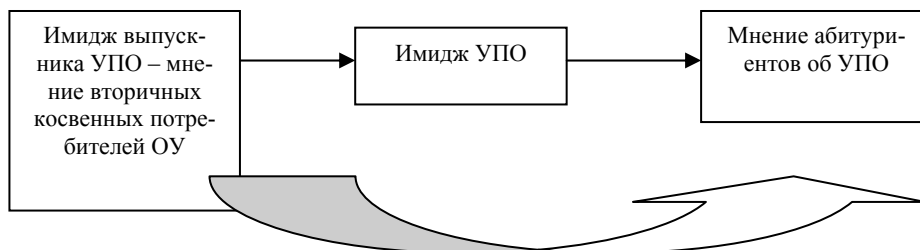


Рис. 3. Имидж выпускников и его влияние на имидж УПО в глазах абитуриентов

Таким образом, имидж выпускников формирует имидж УПО как в глазах вторичных косвенных потребителей ОУ, так и в глазах потенциальных потребителей ОУ на стадии «входа». Именно поэтому в первую очередь УПО должно делать упор на повышение конкурентоспособности своего выпускника в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО у вторичного косвенного потребителя.

Самым важным компонентом в конкурентоспособности выпускника, на наш взгляд, становится востребованность ОУ у вторичных косвенных ее потребителей. Так как какие бы высоко-профессиональные кадры не принимали участие в формировании компетентностей выпускника, какая бы ни была богатая материально-техническая база УПО, если результат потребления студентом ОУ не находит своего применения у вторичного косвенного потребителя ОУ, такая услуга не может считаться качественной.

Следовательно, и выпускник, потребивший некачественную ОУ, не может быть высококонкурентным в сфере потребления конечного продукта деятельности УПО.

Подводя итог исследования методологических подходов к определению продуктов деятельности учреждения профессионального образования, следует отметить следующие подходы:

– необходимо рассматривать в качестве продуктов деятельности УПО не только ОУ, но и преобразованный результат ее потребления (выпускника, сформировавшего способности к труду на базе созданных профессиональных компетенций в результате потребления ОУ);

– при формировании стратегии развития УПО и ассортиментного перечня ОУ необходимо ориентироваться, прежде всего, не на первичного потребителя ее, а вторичного (косвенного), так как именно он является конечным потребителем продуктов деятельности УПО;

– невостребованность конечного продукта деятельности УПО (выпускника) является в какой-то мере признаком некачественного предоставления ОУ.

Библиографические ссылки

1. Энциклопедия содействия трудоустройству : в 3 т. Т 2. Мониторинг деятельности центров содействия занятости учащейся молодежи в системе высшего профессионального образования Российской Федерации / под ред. Е. П. Илясов. М. : ООО «РИТМ», 2007.
2. Российская Федерация. Законы. О защите прав потребителя : федер. закон № 2300-1 от 7.02.1992 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/popular/consumerism>.

Е. И. Vostrova, Е. Е. Lobanova

METHODOLOGICAL APPROACHES FOR VOCATIONAL TRAINING ESTABLISHMENT ACTIVITY PRODUCTS DEFINITION

In the article the authors consider methodological bases of Vocational training establishment functioning in the market of services of vocational training and consumption sphere activity end-product (graduates).

Keywords: vocational training establishment, vocational training service, graduates.

© Вострова Е. И., Лобанова Е. Э., 2011

УДК 005:339:005.962.131:338.314

Е. А. Демакова

ОЦЕНКА ПОЛЕЗНОГО ЭФФЕКТА ОТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОВАРОВ – ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКУПКАМИ

В условиях ограниченного бюджетного финансирования для государственных и муниципальных учреждений актуальна задача повышения эффективности использования средств на закупки различных товаров. Для ее решения требуется разработка современных методик оценки полезного эффекта от эксплуатации изделий. Предлагаемый в статье дифференциально-интегральный подход к решению данной задачи основан на результатах статистической обработки измерений наиболее распространенных дефектов, а также экспертной оценке их влияния на снижение уровня качества товаров.

Ключевые слова: оценка полезного эффекта, качество продукции, дефект.

В соответствии с Федеральным законом № 94-ФЗ при организации мероприятий по закупке – конкурса, аукциона или запроса котировок заказчик – бюджетная организация формулирует требования к товарам в техническом задании (ТЗ) к контракту. В отношении

непродовольственных товаров такие требования касаются преимущественно характеристик их внешнего вида и основных показателей функционального назначения. Не обладая профессиональными знаниями в области качества закупаемых изделий, представители

заказчика, как правило, ограничиваются требованием о соответствии изделий действующему национальному стандарту технических условий на продукцию. В свою очередь, участники мероприятия по размещению заказа – потенциальные поставщики гарантируют поставку товаров с характеристиками, полностью соответствующими требованиям технического задания, в том числе по перечню стандартизированных показателей качества, а право на заключение контракта выигрывает участник, предложивший минимальную цену.

Эффективность проведенного мероприятия (Θ) рассчитывается как доля разницы выделенных на закупку средств (C_b) и цены контракта (C_k) от суммы выделенных средств:

$$\Theta = \frac{(C_b - C_k)}{C_b}. \quad (1)$$

Величина такой экономии при закупках непродовольственных товаров различного назначения по отдельным мероприятиям может достигать 50 % и более. Однако для заказчика данный показатель не является объективной характеристикой эффективности вложения бюджетных средств, так как его значение никак не связано с величиной полезного эффекта, получаемого потребителем от применения закупленных изделий за период их использования или эксплуатации.

Анализ эффективности вложения финансовых ресурсов должен учитывать оценку комплекса потребительских свойств изделий, реализация которых в процессе эксплуатации или использования товара формирует полезный эффект для потребителя (E_u). Его величина позволяет рассчитать интегральный показатель уровня качества (Q_{int}), который и характеризует эффективность затрат на закупку продукции:

$$Q_{int} = \frac{E_u}{P_c}, \quad (2)$$

где P_c – цена потребления, включающая расходы на приобретение и эксплуатацию [1].

Степень соответствия продукции требованиям заказчика по внешним признакам и основным функциональным возможностям может быть оценена в момент поставки товаров. Однако реальная эффективность вложения средств на закупку товаров, не расходующих свой ресурс, – одежды, обуви, мебели, и т. п., зависит от срока их эксплуатации до наступления предельного состояния, когда дальнейшее применение изделий становится невозможным или нецелесообразным. Таким образом, полезный эффект, получаемый потребителем, находится в прямой зависимости от срока эксплуатации приобретенного товара.

Поэтому помимо функциональных характеристик изделий, закупаемых для нужд государственных и муниципальных учреждений, важнейшей группой в комплексе потребительских свойств являются показатели надежности, определяющие в конечном итоге эффективность финансовых затрат на закупку продукции. Однако в современной практике организации

закупочной деятельности показатели надежности приобретаемых изделий для потребителя находятся в области неопределенности.

Уверенность у заказчика может быть лишь в безопасности закупаемой продукции, если ТЗ содержит требование о сопровождении товаров сертификатами или декларациями соответствия в случае их принадлежности перечням продукции, в отношении которой по законодательству процедуры подтверждения соответствия являются обязательными. При этом контролируются лишь некоторые показатели качества продукции, обеспечивающие ее безопасность, а прочие характеристики, в том числе определяющие надежность в эксплуатации, остаются в компетенции производственного контроля качества, который на большинстве предприятий сегодня применяется в ограниченном объеме, особенно по показателям прочности, износостойкости и другим характеристикам, требующим применения испытательного оборудования.

Поэтому без предоставления объективного свидетельства о прохождении добровольной сертификации заявление изготовителя о соответствии продукции действующему национальному стандарту носит скорее формальный характер, а потребитель может рассчитывать на соответствие приобретаемых изделий такому стандарту лишь по внешним признакам. В то же время для обеспечения приемлемого уровня надежности изделий наиболее значимыми оказываются лишь некоторые – определяющие показатели качества. Выявление их номенклатуры, а также оптимальных значений является важнейшей задачей для заказчиков продукции в процессе формирования ТЗ. Требование заказчика о подтверждении соответствия изделий таким определяющим показателям качества может стать объективной основой для увеличения срока эксплуатации изделий и соответствующего повышения эффективности финансовых затрат на осуществление закупок.

Надежность рассматривается как свойство изделия сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [2].

В отношении сложно-технических изделий – электроприборов, радиоэлектронной аппаратуры, компьютерной техники и т. п. – объективными показателями надежности являются средний срок службы, средняя наработка на отказ и т. п., измеряемые в часах или циклах работы, их пределы значений в большинстве случаев стандартизированы.

Для изделий, не относящихся к сложно-техническим – одежда, обувь, мебель и др., – надежность как способность сохранять пригодность к выполнению основных функций целесообразно рассматривать как сохранение целостности товара, т. е. отсутствие повреждений или дефектов, ухудшающих форму, цвет и состояние поверхности изделия.

Таким образом, систематизированное изучение и анализ дефектов, возникающих в процессе использо-

вания или эксплуатации товаров, позволяет получить объективную информацию о выполнении потребительских требований. Научный подход к организации сбора и обработки информации о дефектах предполагает использование метода мониторинга, основанного на постоянном наблюдении за состоянием изделий с целью выявления наиболее распространенных (типичных) дефектов и установления корреляционных зависимостей между размерами дефектов и показателями качества продукции, в том числе характеристиками материалов, а также технологическими параметрами изготовления изделий.

Для расчета величины полезного эффекта от эксплуатации товаров автором статьи разработана оригинальная методика дифференциально-интегрального анализа данных мониторинга, отражающих закономерности накопления наиболее распространенных дефектов, с использованием экспертных оценок влияния дефектов разных размеров на снижение уровня качества изделий. Применение предлагаемой методики к изделиям, ранжированным по материаловедческим или технологическим признакам (в том числе по изготовителям), позволяет рассчитать полезный эффект дифференцированно для групп изделий аналогичного назначения, но различных по исходным значениям показателей качества. Сравнение полученных результатов дает возможность выделить и включить в ТЗ на продукцию те самые определяющие показатели, изменение значений которых оказывает максимальное влияние на уровень качества товаров.

Сущность предлагаемой методики дифференциально-интегрального расчета полезного эффекта от эксплуатации изделий за определенный период заключается в следующем.

Если принять исходный уровень качества товара на момент начала эксплуатации за I_0 , количество закупленных единиц товара – N и сделать допущение, что в течение всего срока эксплуатации T на изделиях не возникают повреждения, т. е. уровень качества каждой единицы товара остается неизменным, то величина полезного эффекта E за период эксплуатации T рассчитывается по формуле

$$E = I_0 \times N \times T. \quad (3)$$

В реальных условиях на изделиях появляются повреждения, количество и размеры которых увеличиваются с ростом срока эксплуатации t . На товарах одного назначения, изготовленных из одинаковых материалов и эксплуатируемых в аналогичных условиях, возникают одинаковые дефекты, среди которых можно выделить несколько распространенных или типичных – в наибольшей степени снижающих уровень качества основной массы закупленных изделий. Для расчетов и сравнения величин полезного эффекта от эксплуатации изделий-аналогов разных изготовителей достаточно ограничиться изучением 3–5 дефектов.

Для оценки влияния типичных дефектов на снижение уровня потребительских свойств изделия необходимо сгруппировать дефекты каждого вида (X^j) в интервалы по размерам и для каждого интервала с ис-

пользованием экспертного метода определить коэффициенты снижения уровня качества – K_i^j . Для практического применения предлагаемой методики целесообразно ограничиться 3–4 интервалами.

Коэффициент K_i^j может принимать значения от 0, когда изделие полностью не пригодно к эксплуатации, до 1 – при отсутствии на изделии дефекта вида X^j или его незначительных размерах, которые не снижают уровня качества изделия. Пример составления матрицы трех размерных интервалов дефектов и соответствующих им коэффициентов снижения качества показан в табл. 1.

Таблица 1

Группировка дефектов по размерам с учетом их влияния на снижение уровня качества товара

Виды распространенных (типичных) дефектов	Размерные интервалы дефекта вида X^j	Коэффициенты снижения уровня качества изделия K_i^j
X^1	Δ_1^1	K_1^1
	Δ_2^1	K_2^1
	Δ_3^1	K_3^1
...
X^n	Δ_1^n	K_1^n
	Δ_2^n	K_2^n
	Δ_3^n	K_3^n

В течение периода эксплуатации T среди N закупленных единиц товара складывается некоторое распределение изделий с дефектом вида X^1 на группы с размерами дефектов из интервалов Δ_i^1 и соответствующими коэффициентами снижения уровня качества K_i^1 .

Доля изделий, относящихся к одной из таких групп, является функцией зависимости от времени эксплуатации t : $N_i/N = F_i^1(t)$. Современный электронно-вычислительный аппарат (пакеты программ STATISTICA, MATHCAD) позволяет проводить математико-статистическую обработку результатов измерений дефектов на большом числе изделий, эксплуатированных разные сроки в аналогичных условиях, и находить уравнения регрессионной зависимости доли изделий с дефектом из определенного размерного интервала (с соответствующим коэффициентом снижения уровня качества) от срока эксплуатации.

Тогда величину полезного эффекта E_i^1 от эксплуатации N_i изделий с соответствующим уровнем качества ($K_i^1 \times I_0$), снизившимся из-за возникновения дефекта X^1 за период времени T можно рассчитать по формуле

$$E_i^1 = K_i^1 \times I_0 \times \int_0^T F_i^1(t) dt. \quad (4)$$

Если ставится задача сравнить величины полезного эффекта от эксплуатации товаров аналогичного назначения, но разных групп по материаловедческим или технологическим признакам (в том числе по изготовителям), а исходный уровень качества изделий из этих групп одинаков, то можно принять $I_0 = 1$ и исключить из последующих расчетов.

Графическая интерпретация формулы (4) на рис. 1 позволяет наглядно проиллюстрировать принцип интегрально-дифференциального подхода к оценке полезного эффекта от эксплуатации товаров за определенный период времени T для случая, когда вся масса эксплуатируемых изделий делится на три группы по размеру дефекта X^1 и каждой группе соответствует свой коэффициент снижения качества K_i^1 ($i = 1, 2, 3$).

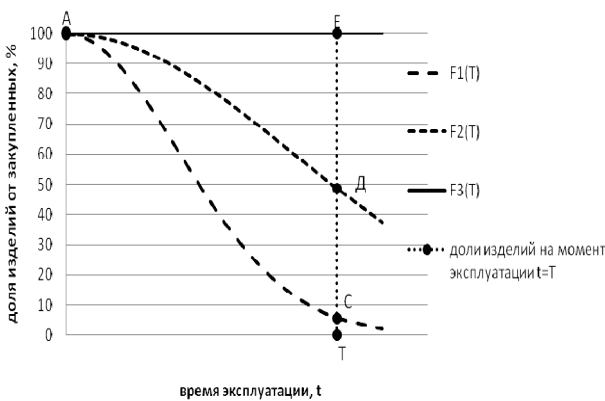


Рис. 1. Регрессионные модели зависимости долей изделий с разными коэффициентами снижения уровней качества K_i^j вследствие возникновения дефекта X^1 от срока эксплуатации

Кривая $F_1(t)$ показывает изменение в течение срока эксплуатации доли изделий (N_1/N) с дефектом X^1 таких размеров, для которых экспертами определен коэффициент снижения уровня качества $K_1^1 = 1$.

Площадь фигуры, ограниченной точками O (начало координат), A, C и T, представляет собой интеграл $\int_0^T F_1(t)dt$, т. е. соответствует величине полезного эффекта E_1^1 , полученного от эксплуатации изделий данной группы за период времени T :

$$E_1^1 = K_1^1 \times \int_0^T F_1(t)dt. \quad (5)$$

Кривая $F_2(t)$ представляет модель регрессии суммы долей $[(N_1 + N_2) / N]$ изделий двух групп: с дефектами X^1 таких размеров, для которых определены коэффициенты снижения уровня качества $K_1^1 = 1$ и K_2^1 . Таким образом, площадь фигуры ADC, умноженная на K_2^1 , представляет полезный эффект E_2^1 от эксплуатации изделий из второй группы по уровню качества (имеющих коэффициент снижения этого уровня K_2^1):

$$E_2^1 = K_2^1 \times (\int_0^T F_2(t)dt - \int_0^T F_1(t)dt). \quad (6)$$

Прямая $F_3(t)$ соответствуют сумме долей изделий трех групп по уровню качества: $[(N_1 + N_2 + N_3) / N]$, для которых определены соответствующие коэффициенты снижения уровня качества: $K_1^1 = 1$, K_2^1 и K_3^1 . Рассматриваемая сумма долей изделий равна единице, так как в нее входят изделия из трех групп, выбранных для данного примера. Поэтому $F_3(t) = 1$, а полезный эффект E_3^1 от эксплуатации изделий с коэффициентом снижения уровня качества K_3^1 равен площади фигуры AED, умноженной на K_3^1 :

$$E_3^1 = K_3^1 \times (T \times 100 - \int_0^T F_2(t)dt). \quad (7)$$

Полезный эффект E^1 от эксплуатации товаров всех групп по снижению уровня качества от возникновения дефекта X^1 находим по формуле:

$$E^1 = \sum_{i=1}^n E_i^1 = \sum_{i=1}^n K_i^1 \times \int_0^T F_i^1(t)dt \quad (8)$$

В рассматриваемом примере $n = 3$, так как вся совокупность изделий была разделена на три группы по размерам дефекта вида X^1 и для этих групп были определены соответствующие коэффициенты снижения уровня качества.

Рассчитав все величины E^j последовательно по каждому виду распространенных для изучаемого товара дефектов, можно выделить те, из-за которых полезный эффект снижается в наибольшей мере. Предварительная классификация анализируемых товаров по материаловедческим или технологическим признакам и дифференцированный расчет полезного эффекта от эксплуатации изделий выбранных групп позволяют определить оптимальные значения показателей качества, при которых повреждения продукции за некоторый период времени T оказываются минимальными.

Алгоритм дифференциально-интегрального анализа данных мониторинга дефектов товаров с целью оценки полезного эффекта от их эксплуатации представлен на рис. 2.

Предлагаемая методика апробирована в ходе реализации научного проекта «Совершенствование нормативной базы и экономических механизмов формирования здоровьесберегающей предметной среды в учреждениях общего образования».

В ходе мониторинга качества велась регистрация и измерение дефектов, возникших за период эксплуатации от 0,5 до 3,5 лет, на столах ученических в учебных кабинетах семи учреждений общего образования (школах и гимназиях) города Красноярск. Все наблюдаемые столы имеют столешницу из ламинированной древесно-стружечной плиты (ЛДСП) и металлокаркас.

Среди перечня дефектов, возникающих на таких столах, наибольшее снижение полезного эффекта от эксплуатации изделий вызывают сколы вдоль кромок столешниц.

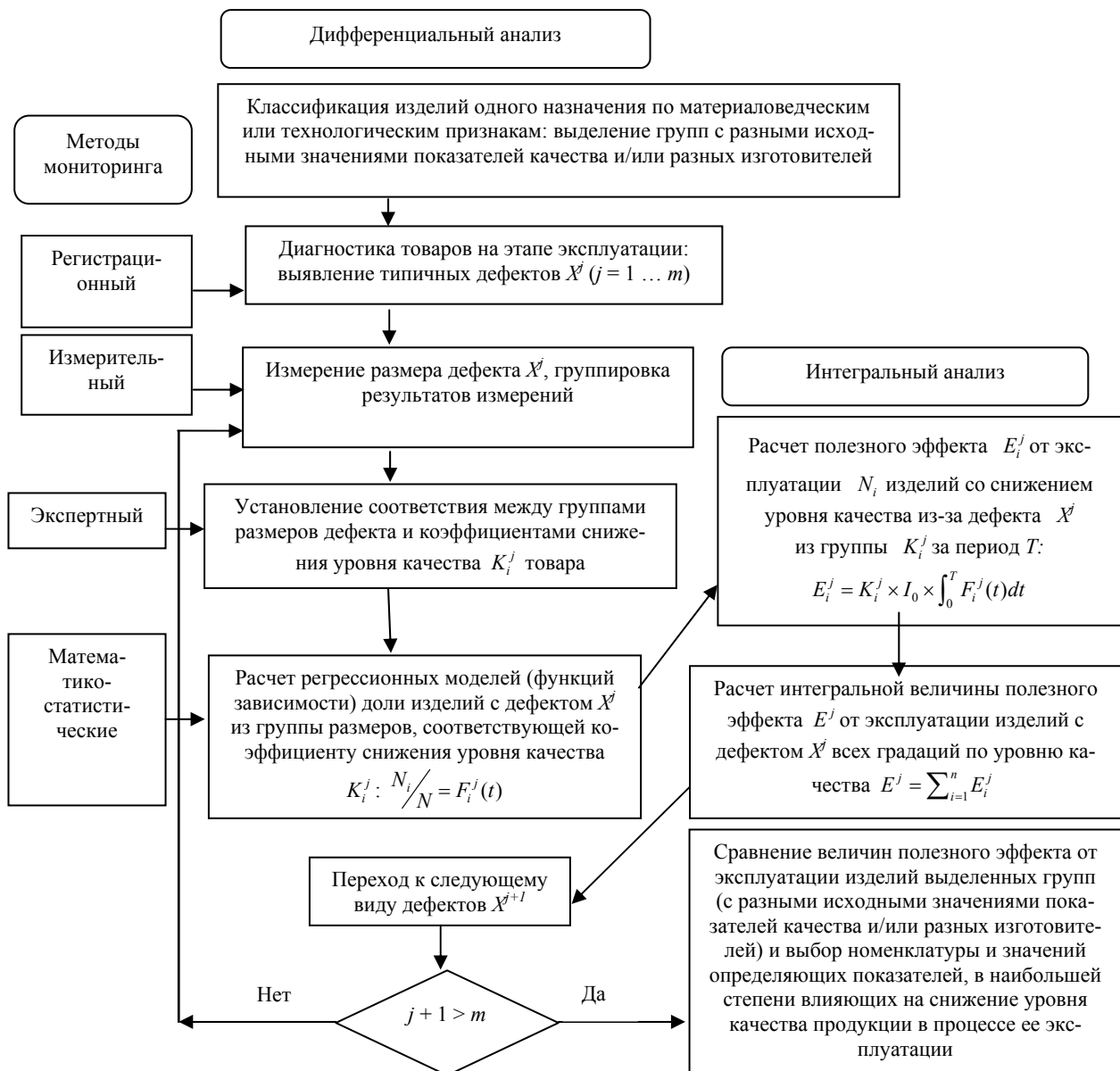


Рис. 2. Алгоритм дифференциально-интегрального метода оценки полезного эффекта от эксплуатации товаров

Данный дефект связан с нарушением технологии облицовывания торцов [3] кромкооблицовочным материалом – лентой из поливинилхлорида толщиной 1,5–2 мм. Такие сколы существенно снижают комфортность работы и создают механическую опасность для учащихся.

Расчеты полезного эффекта от эксплуатации столов в течение 10 лет (при среднегодовой нагрузке 600 ч занятий $T = 6\,000$ ч) проводили дифференцированно для продукции, поставленной в школы двумя разными изготовителями: А и Б.

В зависимости от размера дефекта – суммарной длины сколов вдоль кромки стола со стороны учащихся – вся совокупность столов была разделена на три группы, для которых экспертным методом установлены соответствующие коэффициенты снижения уровню качества столов: $K_1^1 = 1$, $K_2^1 = 0,8$ и $K_3^1 = 0,5$.

В ходе статистической обработки результатов измерений [4] в качестве функции регрессии, показывающей изменение долей столов с разными уровнями качества в течение срока эксплуатации, была найдена функция следующего вида:

$$y = e^{b_0 + b_1 \times t + b_2 \times t^2}, \quad (9)$$

где y – доля столов с соответствующим коэффициентом снижения уровня качества (K_1^1 , K_2^1 или K_3^1); b_0 , b_1 и b_2 – постоянные коэффициенты; t – срок эксплуатации, ч.

Коэффициенты детерминации R^2 для разных моделей составили от 0,74 до 0,83, что свидетельствует о достаточно высоком качестве подбора функций регрессии.

Результаты расчетов (табл. 2) показывают, что полезный эффект, полученный за 10 лет эксплуатации столов ученических поставщика Б, на 22 % выше, хо-

тя более низкая цена предложения поставщика А увеличивает его шансы на победу в мероприятии по закупке мебели.

Расчет эффективности мероприятия (табл. 2), принятый в практике анализа закупочной деятельности, показывает, что выбор поставщика А для заключения контракта на поставку столов ученических обеспечивает прямую экономию бюджетных средств – 9,4 %. Однако с учетом результатов мониторинга качества изделий в процессе эксплуатации можно констатировать, что закупка продукции поставщика Б более эффективна, так как сопровождается большим полезным эффектом на 1 рубль финансовых вложений: 3,1 против 2,8 усл. ед. в случае закупки столов поставщика А.

Результаты апробирования предлагаемой методики дифференциально-интегрального анализа результатов мониторинга качества изделий при расчете полезного эффекта от их эксплуатации позволили сделать следующие выводы:

1) оптимизировать процесс мониторинга качества изделий позволяет их группировка по видам и размерам типичных дефектов, а также установление для выделенных групп изделий соответствующих коэффициентов снижения уровня качества;

2) статистическая обработка результатов измерений размеров дефектов позволяет выявить функциональные зависимости долей изделий с разной степенью повреждения от времени эксплуатации;

3) сравнение интегральных показателей уровня качества продукции, рассчитанных на основе оценки полезного эффекта за период эксплуатации изделий дифференциально-интегральным методом, позволяет получить информацию для анализа эффективности вложения средств на закупку товаров, более объективную, чем при простом сравнении цен на продукцию разных поставщиков.

Библиографические ссылки

1. Горбашко Е. А. Управление качеством : учеб. пособие. СПб. : Питер. 2008.
2. Николаева М. А. Теоретические основы товароведения. М. : Норма. 2006.
3. Герасимов Д. Облицовывание кромок // Фабрика мебели. 2007. № 4. С. 38–39.
4. Практикум по эконометрике : учеб. пособие / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Н. М. Гордеенко и др. М. : Финансы и статистика, 2002.

Таблица 2

Расчет эффективности закупок и интегральных показателей уровня качества столов ученических (в расчете на 100 изделий)

Показатель сравнения	Формула расчета	Значения показателей для поставщиков мебели	
		Поставщик А	Поставщик Б
Полезный эффект от эксплуатации столов разных групп по значению коэффициента снижения уровня качества E_i , усл. ед.	Формула (5) для изделий с $K_1 = 1$	$E_1 = 185639$	$E_1 = 445449$
	Формула (6) для изделий с $K_2 = 0,8$	$E_2 = 166532$	$E_2 = 86943$
	Формула (7) для изделий с $K_3 = 0,5$	$E_3 = 103098$	$E_3 = 22936$
Полезный эффект от эксплуатации столов всех групп E , усл. ед.	Формула (8)	$E = 455269$	$E = 555328$
Цена закупки Π_3 , руб.	–	162300	179200
Интегральный показатель уровня качества, Q_{int}	$\frac{E}{\Pi_3}$	2,8	3,1
Эффективность закупки при выборе поставщика А, предложившего меньшую цену Θ_3 , %	$\frac{\Pi_{3max} - \Pi_{3min}}{\Pi_{3max}} \times 100$	9,4	

Е. А. Demakova

EVALUATION OF USEFUL EFFECT OF OPERATING OF THE GOODS AS THE TOOLS OF PROCUREMENT MANAGMENT

With a limited budget funding for state and municipal agencies there appears an urgent task of more efficient use of funds for procurement of various goods. It requires development of modern methods for evaluation of useful effect of the operation of products. A differential-integral approach which is proposed to solve this problem is based on the results of statistical analysis of measurements of the most common defects as well as expert evaluation of their impact on reducing the quality of goods.

Keywords: evaluation of useful effects, product quality, defect.

© Демакова Е. А., 2011

Ю. В. Ерыгин, М. А. Рагозина

ИНСТРУМЕНТЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Предложены специальные матрицы стратегического планирования производственной программы предприятий ОПК, учитывающие специфические особенности их деятельности.

Ключевые слова: экономический потенциал, производственная программа, матрицы стратегического планирования.

Российский оборонно-промышленный комплекс – это совокупность технологически родственных предприятий, представляющих целостный организм с выстроенной сложной структурой, состоящей из многоуровневых устойчивых коопераций. Сегодня в российском оборонно-промышленном комплексе существует немало проблем. Они вызваны прежде всего необходимостью технического переоснащения предприятий и организаций ОПК для повышения эффективности реализации госзаказов и федеральных целевых программ.

Огромное значение для обеспечения эффективности деятельности предприятий ОПК имеет стратегическое планирование. Важным элементом в системе стратегического планирования является задача планирования производственной программы предприятия, учитывающая результаты плановых решений в области маркетинга, материально-технического, кадрового, финансового обеспечения, науки и др.

Комплексный характер задачи планирования производственной программы предприятий ОПК и специфические особенности их функционирования предъявляют особые требования к выбору инструментов стратегического планирования. Данное обстоятельство требует пересмотра принципов и методов стратегического планирования, изменения его содержания и структуры с целью обеспечения конкурентоспособности и устойчивости предприятия.

Существует большое количество разработок в области стратегического планирования, в частности: матрица BCG, матрица конкурентного преимущества (усовершенствованная матрица BCG), GE/McKinsey (для анализа хозяйственного портфеля), матрица возможностей, матрица рисков, матрица SPACE, матрица направленной политики (или матрица Shell) и т. д. Вместе с тем, анализ показал, что существующие инструменты стратегического планирования не позволяют учесть особенности деятельности предприятий ОПК.

Перечислим особенности деятельности предприятий ОПК.

1. Высокая зависимость от госзаказа при существовании реальной перспективы его прекращения.

Одним из важнейших средств обеспечения национальной безопасности являются его вооруженные силы. Национальная безопасность – одна из главных потребностей государства и общества, удовлетворение которой обуславливает создание ОПК с целью снаб-

жения государства военной техникой. Отсюда вытекает необходимость постоянного внимания со стороны государства к проблемам развития оборонно-промышленного комплекса, разработке и производству вооружения и военной техники. В результате, основная цель функционирования ОПК делает его зависимым от наличия государственного заказа, т. е. от обеспечения его работой и необходимым финансированием.

Предприятия оборонной промышленности осуществляют до 80 % поставок по государственному оборонному заказу [1]. В перспективе, как это намечено в стратегии развития ОПК на период до 2015 г., даже при повышении уровня загрузки производственных мощностей гособоронзаказом, доля продукции военного назначения будет существенно снижаться (до 50 %) [2]. Это обуславливает возможность дальнейшего прекращения государственных оборонных заказов и полное переключение мощностей предприятий ОПК на производство гражданской продукции.

2. Наличие выраженной специализации производства.

Специализация ОПК носит военный наукоемкий характер, что в свою очередь проявляется в таких крупных направлениях, как авиакосмическое, ракетостроительное, радиоэлектронное, производство средств связи, боеприпасов и спецтехники, приборостроение.

Доля отраслей ОПК в производстве наукоемкой высокотехнологичной продукции достигает по авиационной технике, гражданскому космосу, оптическому приборостроению, изделиям электронной техники, промышленным взрывчатым веществам 100 %; судостроению, радиоэлектронной аппаратуре – 90 %; средствам связи – 70 %; сложной медицинской технике – 60 %; высокотехнологичному оборудованию для ТЭК – 30 % [3].

В результате, высокий уровень такой специализации обуславливает затратный способ формирования цен на производимую продукцию. Существует меньшая, по сравнению с гражданским производством, скорость обновления образцов выпускаемой продукции, не связанная с необходимостью удовлетворения спроса рынка, а вследствие развития НИОКР.

3. Высокий уровень наукоёмкости производства.

Оборонно-промышленный комплекс России представляет собой многофункциональные научно-производственные отрасли промышленности, способ-

ные разрабатывать и производить современные виды и типы вооружений, а также выпускать разнообразную наукоемкую гражданскую продукцию [4].

В российском оборонно-промышленном комплексе в настоящее время существует более 3 000 современных технологий суперкласса [2]. На долю предприятий ОПК и сегодня приходится более 70 % всей производимой в стране научной продукции [5]. По уровню интеллектуалоемкости ОПК является лидирующим сектором российской экономики [6].

Оборонно-промышленный комплекс – основной потребитель результатов инновационной деятельности [7]. Инновационная деятельность – это часть общей производственной и деловой деятельности в рыночном механизме хозяйствования. По ее состоянию определяется общая степень здоровья предприятия, отрасли, экономики в целом на момент анализа, а также делается прогноз на будущее.

4. Высокий уровень риска.

Основа эффективной работы на ОПК – обеспечение постоянного контроля отклонений. Это подразумевает проведение регулярного учета, предоставление полной отчетности по производству, анализ и координацию производства.

Произведенная на предприятиях ОПК продукция должна соответствовать всем предъявленным требованиям, в противном случае, несоответствие одного изделия ведет к полному уничтожению всей партии независимо от условий заказа, а, следовательно, и к финансовому убытку предприятия. Государство не берет на себя экономическую ответственность за нанесение убытков предприятию.

Помимо этого существует постоянный риск прекращения, задержки или сокращения финансирования государственного заказа, в результате чего дальнейшее производство продукции полностью осуществляется за счет собственных средств предприятия.

В современной ситуации финансовое положение предприятий оборонной отрасли остается достаточно тяжелым. Неритмичность перечисления средств за выполнение текущего оборонного заказа и в задолженности по уже выполненным работам, пролонгация в погашении долгов, воздействие инфляции на снижение реальной стоимости долговых сумм приводят к увеличению кредиторской задолженности предприятий ОПК [8].

5. Долгосрочный и капиталоемкий характер производственной деятельности.

Долгосрочное планирование позволяет принимать решения об основной структуре программы производства и сбыта, включая разработку новых видов продукции, применяемой технологии производства, вида и объема используемого оборудования, необходимой рабочей силы. Так, производственная программа формируется не на один год, а на несколько лет.

Эффективное функционирование ОПК подразумевает постоянный контроль, наблюдение за тем, как программа выполняется и внесение определенных коррективов, если это необходимо.

Капиталоемкость определяется постоянным финансированием и зависимостью от сроков его осуществления. Все затраты на производство, как и производственная программа, рассчитываются на несколько лет с учетом возможности внесения изменений в распределение финансовых средств, либо с учетом вероятности прекращения их поступления.

6. Существование двух полярных сфер функционирования предприятия, проявляющихся в наличии оборонного и конверсионного производств.

Оборонно-промышленный комплекс России максимально использует свои возможности для обеспечения не только оборонной, но и экономической, социальной и интеллектуальной безопасности страны, т. е. помимо военной продукции, предприятия ОПК производят продукцию гражданского назначения, что и предусматривается в идее конверсии.

Конверсия представляет собой регулируемый государством процесс организационных, правовых, технологических, научно-технических и социально-экономических преобразований оборонной промышленности в целях частичной или полной переориентации на выпуск продукции гражданского назначения ранее задействованных в оборонном производстве производственных мощностей, научно-технического потенциала и трудовых ресурсов организаций оборонной промышленности [9]. Ориентация на производство конверсионной продукции способна обеспечить предприятия финансовыми средствами, необходимыми для поддержания текущей деятельности.

Как показывает практика, деятельность организаций ОПК, ориентированная в основном на производство вооружений и её экспортную составляющую, не может быть основой устойчивого финансово-экономического состояния и обеспечивать их развитие в долгосрочной перспективе. Загрузка производственных мощностей предприятий ОПК по-прежнему остается на низком уровне.

Дальнейшее развитие ОПК связано в первую очередь с развитием гражданского производства. В перспективе, даже при повышении уровня загрузки производственных мощностей растущим ГОЗ, доля продукции военного назначения должна существенно снижаться (до 50 %) за счет опережающего роста продукции гражданского назначения.

7. Использование созданного в рамках основного производства инновационного потенциала предприятия для изготовления конкурентоспособной конверсионной продукции и продукции двойного назначения.

Инновационный потенциал предприятия и персонала – это, по сути, ключевой фактор будущего успеха предприятия. Инновационность предприятия является важным конкурентным преимуществом, ибо позволяет своевременно защитить производство от назревающих внешних угроз. При этом возрастают разнообразие и вариативность продуктов и технологий.

Инновационный потенциал, т. е. совершенствование технологической базы производства, освоение и внедрение новых технологий, обеспечивающих повышение качества продукции, экономии энергоре-

сурсов, сокращение затрат труда, позволяет производить высокотехнологичную, наукоемкую и перспективную конверсионную продукцию, а также продукцию двойного назначения.

Таким образом, в связи с наличием вышеназванных особенностей предприятий ОПК становится важной разработка специальных матриц стратегического планирования производственной программы предприятий ОПК для учета специфических особенностей их деятельности.

Потенциал любого предприятия отражает совокупные силовые возможности достижения различных целей в различных областях и, по мнению ведущего специалиста в области управления инновациями, может быть представлен так, как показано на рисунке [7].

Особое значение при формировании производственной программы предприятия имеют маркетинговый и организационно-управленческий потенциалы. Для формирования производственной программы предприятия необходимо проводить анализ факторов, определяющих производственный и научно-технический потенциалы предприятий ОПК.

На формирование производственной программы предприятий ОПК оказывает влияние используемая стратегия производства, выбор которой определяется производственным потенциалом и уровнем запаса финансовой прочности. Производственный потенциал предприятия зависит от таких факторов, как специализация предприятий, ориентация на выпуск оборонной и конверсионной продукции, степень загрузки производственных мощностей и др.

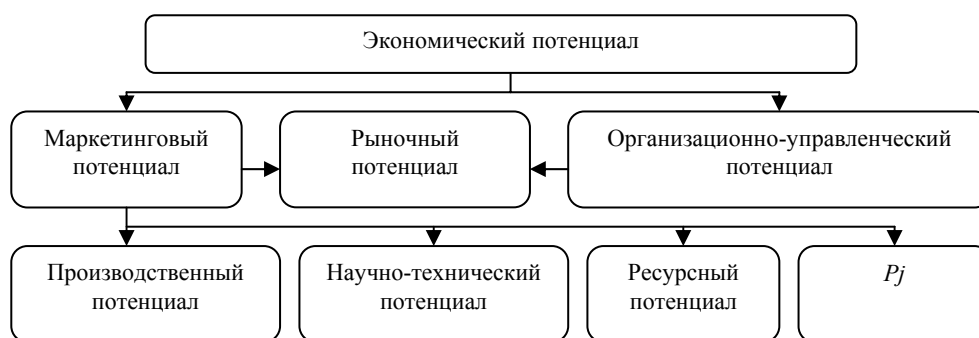
На основе использования матрицы «производственный потенциал – запас финансовой прочности» проводится идентификация производственной стратегии предприятий ОПК, в соответствии с которой предлагаются варианты, представленные в табл. 1.

Зона А – стратегия роста производства. Стратегия ориентации на гособоронзаказ; свободный резерв производственной мощности может быть использован для конверсионного производства; высокая эффективность использования производственного потенциала.

Зона В – стратегия расширения деятельности. Стратегия развития конверсионного производства при обеспечении выполнения гособоронзаказа. Ориентация на расширение ассортимента продукции, увеличение объемов продаж и доли рынка, исходя из требований рынка и возможностей предприятия.

Зона С – стратегия развития производственного потенциала. Зона характеризуется тем, что для выполнения гособоронзаказа требуется совершенствование и/или повышение уровня производственного потенциала, с целью совершенствования требованиям ГОЗа и улучшения позиции предприятия на рынке.

Зона D – стратегия перехода. Ввиду невозможности формирования эффективной производственной программы предприятия необходима его реструктуризация с целью выделения перспективных производств, а также обновления основных фондов. Наряду с этим необходимо развитие научно-технического потенциала для увеличения количества научно-технических разработок и внедрения инноваций.



Структура экономического потенциала

Таблица 1

Матрица «производственный потенциал – запас финансовой прочности» для идентификации производственной стратегии предприятий ОПК

		Уровень запаса финансовой прочности	
		Высокий ЗФП > 20 %	Низкий ЗФП < 20 %
Производственный потенциал	Высокий	А – стратегия роста производства	В – стратегия расширения деятельности
	Низкий	С – стратегия развития производственного потенциала	D – стратегия перехода

На формирование производственной программы предприятий ОПК оказывает влияние используемая научно-техническая стратегия. Ее выбор определяется научно-техническим потенциалом и уровнем гособоронзаказа (ГОЗ). В свою очередь научно-технический потенциал предприятия зависит от следующих факторов: наукоемкость продукции, наукоемкость технологий, наличие инновационных конкурентоспособных разработок и др.

На основе использования матрицы «научно-технический потенциал – уровень ГОЗ» проводится идентификация научно-технической стратегии предприятий ОПК, в соответствии с которой предлагаются варианты, представленные в табл. 2.

Зона А – стратегия реализации инновации. Предприятие располагает достаточным научно-техническим потенциалом и, следовательно, имеет возможность разрабатывать и внедрять инновации, свободный резерв научно-технического потенциала может быть использован для конверсионного производства.

Зона В – наступательная стратегия. Имеется высокий уровень научно-технического потенциала при низком уровне гособоронзаказа. Стратегия основана на быстром внедрении нововведений. Научно-технический потенциал необходимо направить на развитие конверсионного производства, так как предприятия ОПК обладают значительным научно-техническим потенциалом для быстрой реакции на действия конкурентов.

Зона D – стратегия перехода. Ввиду невозможности формирования эффективной производственной программы предприятия необходима его реструктуризация с целью выделения перспективных произ-

водств, а также поиск альтернативных технологий, инвесторов, привлечение дополнительных кредитных ресурсов для увеличения объема средств, направляемых на техническое перевооружение, поддержание технологической устойчивости. Наряду с этим необходима активизация взаимодействия с научно-исследовательскими организациями и промышленными предприятиями для приобретения технологии на стороне, а также выстраивание кооперационных связей для совместного взаимовыгодного сотрудничества.

В общем и целом на формирование производственной программы предприятий ОПК оказывает влияние используемая экономическая стратегия, выбор которой определяется экономическим и рыночным потенциалами. Экономический потенциал предприятия рассматривается как система, структурными элементами которой являются организационно-управленческий, производственный, научно-технический, кадровый и другие потенциалы. Следовательно, необходимо проводить анализ факторов, влияющих на структурные элементы экономического потенциала. Рыночный потенциал предприятия рассматривается как возможность управления его ресурсами на определенных этапах развития в целях эффективного взаимодействия с рынком. Рыночный потенциал зависит от следующих факторов: размеры и доля рынка, потенциал роста рынка, развитость рыночной инфраструктуры и др.

На основе использования матрицы «рыночный потенциал – экономический потенциал» проводится идентификация экономической стратегии предприятий ОПК, в соответствии с которой предлагаются варианты, представленные в табл. 3.

Таблица 2

Матрица «научно-технический потенциал – уровень ГОЗ» для идентификации производственной стратегии предприятий ОПК

		Уровень гособоронзаказа, обеспечивающий безубыточность производства	
		Высокий $V_{ВПГОЗ} > ТБ$	Низкий $V_{ВПГОЗ} \leq ТБ$
Научно-технический потенциал	Высокий	А – стратегия реализации инновации	В – наступательная стратегия
	Низкий	С – стратегия развития научно-технического потенциала	Д – стратегия перехода

Таблица 3

Матрица «рыночный потенциал – экономический потенциал» для идентификации экономической стратегии предприятий ОПК

		Экономический потенциал	
		Высокий $K_{испЭП} \geq$	Низкий $K_{испЭП} \leq$
Рыночный потенциал	Высокий	А – стратегия максимальной реализации потенциалов предприятия	В – стратегия активизации экономического потенциала
	Низкий	С – стратегия активизации рыночного потенциала	Д – ликвидация предприятия

Зона А – стратегия максимальной реализации потенциалов предприятия: производственного, научно-технического, трудового и др. Характеризуется высоким уровнем использования экономического потенциала, предприятие имеет возможность разрабатывать и внедрять инновации, стремится к увеличению объемов производства, прибыли и капитала.

Зона В – стратегия активизации экономического потенциала. В данной ситуации предприятию необходима программа активизации экономического потенциала: вложение инвестиций, обновление производственной базы, технологии, научные разработки.

Зона С – стратегия активизации рыночного потенциала. Стратегия деятельности предприятия в условиях нестабильного объема продаж и доходов. Эта стратегия направлена на достижение стабилизации на возможно ранней стадии колебаний объемов продаж и доходов с последующим переходом к стратегии зоны А.

Зона D – ликвидация предприятия. В этом случае отсутствует целесообразность сохранения предприятия в силу низкой плодотворности и бесперспективности деятельности, что приводит к невозможности формирования эффективной производственной программы предприятия.

Использование предложенных матриц стратегического анализа позволяет сформировать стратегию развития предприятий ОПК, определяющую его производственную программу и учитывающую особенности их функционирования.

Библиографические ссылки

1. ВПК – кадровый потенциал. Россия перед вызовом XXI века [Электронный ресурс] // Журнал «Человек и труд». 2004. № 12. URL:

http://www.chelt.ru/2004/12-04/nikolaev_12-04.html (дата обращения: 1.11.2010).

2. ВПК – надёжный куратор оборонки [Электронный ресурс] // Красная звезда. 2007. URL: http://www.redstar.ru/2007/02/01_02/1_02.html (дата обращения: 1.11.2010).

3. Коптев Ю. Н. Оборонно-промышленный комплекс России: вчера, сегодня, ближайшие годы // Информационно-аналитический журнал. Вооружение. Политика. Конверсия. 2006. № 2.

4. Вопросы военной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] // Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ. 2006. № 19 (307). URL: http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2006/VSF_NEW200701241442/VSF_NEW200701241442_p_002.htm (дата обращения: 1.11.2010).

5. Индийский плацдарм российского ОПК [Электронный ресурс] // Государственный заказ. 2006. URL: <http://www.statetenders.ru/analitica/analytLight.asp?did=87> (дата обращения: 1.11.2010).

6. Николаев О. В. Кадровый потенциал научно-производственной сферы ОПК России: проблемы и решения [Электронный ресурс]. 2005. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7769.html> (дата обращения: 1.11.2010).

7. Лапин, А. В. Экономический потенциал предприятия. Сумы : ИТД «Университетская книга». 2004.

8. Электронный научный журнал «Вооружение и экономика» [Электронный ресурс]. 2008. № 3 (3). URL: http://www.viculov.ru/vie/vie_3_08.pdf (дата обращения: 1.11.2010).

9. Российская Федерация. Законы. О конверсии оборонной промышленности в Российской Федерации : федер. закон № 60-ФЗ от 13.04.98 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.akdi.ru/gd/proekt/069834GD.SHTM> (дата обращения: 1.11.2010).

Yu. V. Erygin, M. A. Ragozina

STRATEGIC PLANNING TOOL OF PRODUCTION PROGRAM OF ENTERPRISES OF DEFENSE INDUSTRIAL SECTOR

The article offers special matrixes of strategic planning of industrial program of DIS enterprises, considering specific features of their activity.

Keywords: economic potential, industrial program, matrix of strategic planning.

© Ерыгин Ю. В., Рагозина М. А., 2011

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА*

Выявлены основные факторы, оказывающие непосредственное влияние на работу предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и их систематизацию, с целью определения наиболее значимых рисков, которые могут негативно воздействовать на работу предприятий оборонно-промышленного комплекса.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, высокотехнологичное конверсионное производство, основные этапы реформирования и развития ОПК, структура ОПК, факторы, влияющие на развитие предприятий оборонно-промышленного комплекса, риски.

Становление экономики России невозможно без развития ее реального сектора, ведущее место в котором занимает оборонно-промышленный комплекс (ОПК) – одно из основных межотраслевых образований социально-экономической системы (СЭС) страны, на долю которого приходится более половины всех производственных мощностей [1].

ОПК является высокотехнологичным, многопрофильным, научно-производственным комплексом российской экономики, производящим продукты, не просто конкурентоспособные на внешнем рынке, но и часто превосходящие западные аналоги.

Особенностью оборонно-промышленного комплекса является его замкнутость с точки зрения допуска иностранных инвесторов, зарубежных технологий. Это в некоторой степени является его недостатком. В то же время, подобная «замкнутость» создала условия, при которых ОПК в России представляет собой одну из важнейших сфер хозяйствования, пронизывающих межотраслевой баланс страны. Предприятия оборонно-промышленного комплекса имеют глубокую «корневую систему» именно внутри страны. Это позволяет говорить о том, что ОПК в настоящее время может явиться «локомотивом» развития экономики страны и способен обеспечить ее устойчивое развитие [2].

В настоящее время российский ОПК – это скорее не комплекс предприятий, а их совокупность плюс научные организации, занятые разработкой, производством и ремонтом продукции военного и гражданского назначения, объединенные по отраслевому признаку [3]. В его составе сосредоточено большинство базовых высокотехнологических и наукоемких отраслей промышленности, составляющих основу научно-технического потенциала страны и определяющих главные направления научно-технического прогресса (см. рисунок). Ракетно-космическая промышленность (РКП) занимает ключевое место в государственной политике России и является одним из важнейших факторов, определяющих ее статус страны высоких технологий [2].

Оборонная промышленность СССР в целом до 1990-х гг. составляла базовую основу промышленного потенциала страны. В комплексе было занято более

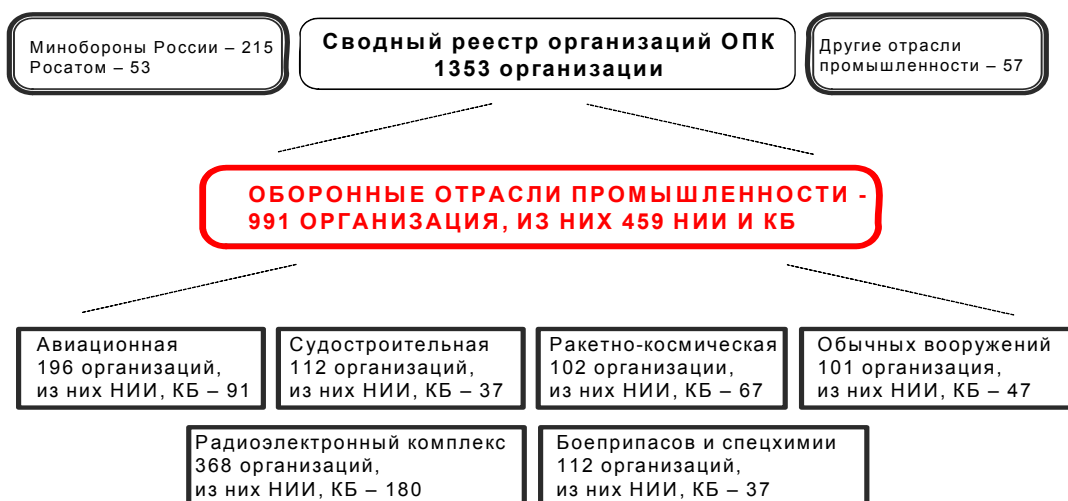
5 млн чел., представляющих научную и индустриальную элиту страны. Отраслевая структура и высокий научно-технический потенциал советской военной промышленности позволяли обеспечивать стратегический паритет с ведущей в экономическом и военном отношении страной мира – США. В 1980-х гг. удельный вес оборонных расходов в СССР составлял 9–13 % бюджета. К концу 1980-х гг. ОПК производил 20–25 % валового национального продукта страны. На ОПК приходилось более 12 % основных фондов промышленности и до 80 % совокупного объема выпуска продукции машиностроения, а общее количество предприятий комплекса превышало 3 000. Таким образом, ко времени распада СССР «оборонка» составляла основу промышленного потенциала страны и по уровню технологического развития не уступала развитым странам Запада, более того, лидировала в ряде областей [4].

Экономические реформы, проводимые в 90-е годы, повлекли ряд негативных тенденций, в отношении оборонно-промышленного комплекса промышленности:

- отсутствие военной доктрины, планов и программ развития ОПК, производства новых видов вооружений;
- отсутствие устойчивой и эффективной системы государственного управления оборонно-промышленным комплексом;
- неупорядоченность и фрагментарность государственных оборонных заказов;
- отсутствие планов и программ перепрофилирования предприятия ОПК;
- несвоевременные расчеты государства с предприятиями ОПК;
- отсутствие комплексного подхода к конверсионным производствам.

Данные негативные тенденции привели к тому, что резко сократились объемы производства и, соответственно, финансирования предприятий ОПК, катастрофически снизился объем НИОКР, возникла серьезная социальная нестабильность. В результате, предприятия оборонно-промышленного комплекса оказались «на обочине» рыночных отношений, вынужденные самостоятельно решать возникшие проблемы [6; 7].

*Работа выполнена при поддержке Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.2/2076).



Структура ОПК по видам деятельности [5]

Финансовый кризис 1998 г. привел к общему оживлению российской экономики, в том числе и ОПК. Девальвация рубля обусловила повышение конкурентоспособности предприятий комплекса, что стимулировало активный рост объемов продукции в течение 1998–2003 гг.

Стабильное повышение доходов бюджета позволило государству ежегодно увеличивать ассигнования на национальную оборону, расширять государственный оборонный заказ. Начиная с 2002 г. гособоронзаказ в абсолютных цифрах вырос в 3,75 раза (с 80 до 300 млрд руб.), военные расходы – в 2,9 раза (с 284 до 821 млрд руб.). По данным Минпромэнерго, рост промышленного производства ОПК в 2006 г. составил 9,8 %, при этом выпуск гражданской продукции увеличился на 4,2 %. Продолжался и приток инвестиций – в 2006 г. он составил 5,6 % [1].

В 2000 г. Президентом России была утверждена военная доктрина страны, определяющая военно-политические, военно-стратегические и военно-экономические основы обеспечения военной безопасности Российской Федерации [8].

Величина абсолютных затрат на науку в России в 6 раз меньше, чем в Японии и в 16 раз меньше, чем в США [9]. Например, США выделяют на военные НИОКР более 70 млрд долл., что позволяет им сохранять лидерство в области военных технологий. Симптомом технологического отставания является и то, что доля современной техники в российской армии, по оценкам экспертов Минобороны, не превышает 20 % (для сравнения: в армиях развитых стран доля современной техники оценивается в 60–80 %). В России в 2007 г. только 6 % предприятий, включая и ОПК, и гражданский сектор экономики, в той или иной степени реализуют инновационные проекты. Как следствие, позиции нашей страны на рынке наукоемкой продукции остаются слабыми (к примеру, общий ежегодный объем экспорта высокотехнологичной продукции России в 5 раз меньше, чем Таиланда, в 8 раз – Мексики, в 10 раз – КНР, в 14 раз – Южной Кореи) [4].

На сегодняшний день в ОПК происходит рост промышленного производства. Кроме того, в общем объеме производства увеличивается доля продукции гражданского назначения. Предприятия ОПК, в определенной степени, сохранили свой высокий научный потенциал, культуру производства, систему управления качеством, что является главным условием конкурентоспособности [10].

Согласно данным Министерства промышленности и энергетики, в России в 2007 г. рост промышленного производства ОПК в сравнении с 2006 г. составил 114,8 %. При этом производство гражданской продукции увеличилось на 8,9 %. Доля гражданской продукции в общем объеме производства составила 38,6 % [11].

Рост гражданского производства обеспечен в основном увеличением объемов производства гражданской авиационной техники, а также ремонта самолетов и вертолетов (в этой связи увеличением поставок узлов, агрегатов и оборудования).

При росте производства гражданской продукции на 9,9 %, производство авиационной техники возросло на 16,5 %.

В ракетно-космической промышленности рост производства продукции гражданского назначения составил 113,7 %. Увеличение производства гражданской продукции ракетно-космической промышленности обусловлено ростом объема работ по ФЦП «Федеральная космическая программа» и ГЛОНАСС, а также заказов на экспорт.

Переломными в развитии отечественной космонавтики стали последние годы. В этот период государственное финансирование работ несколько увеличилось, что создало благоприятные условия для наращивания потенциала предприятий отрасли. Некоторый подъем в РКП был связан главным образом с выполнением международных контрактов, участием в международных проектах [12] и обязательствам по созданию МКС.

Анализ развития космической деятельности как сегмента мирового высокотехнологичного рынка по-

зволяет выявить некоторые устойчивые глобальные тенденции и процессы:

- неуклонно расширяется круг стран, осуществляющих исследовательские или прикладные программы с использованием космических средств. Развитой космической инфраструктурой, позволяющей самостоятельно решать сложные задачи освоения и практического использования космоса, наряду с Россией обладает лишь США, Франция, Китай, Япония, Индия. Активность в вопросах военного использования космоса проявляют Великобритания и Германия. По формальным признакам к этому списку может быть присоединен и Израиль;

- все чаще практикуется концентрация ресурсов и кооперация различных стран при реализации космических проектов, идет процесс интеграции отдельных компаний в крупные международные корпорации;

- развивающиеся страны в космической деятельности главным образом решают экономические задачи в целях своего прогресса. Они развертывают прикладные космические средства (связь), которые им предоставляют страны с высоким космическим потенциалом;

- требования повышения эффективности вложенных в космические исследования и разработки средств, а также снижения удельных затрат в практическом использовании космоса объективно влекут за собой диффузию технологий гражданского и военного назначения;

- на начальных стадиях освоения и использования космического пространства космические программы во всех странах финансируются из государственного бюджета, по мере выхода на уровень рентабельности госфинансирование свертывается;

- стремительно растет сфера коммерческой космической деятельности и доля частных инвестиций в общем объеме ее финансирования;

- конкуренция между странами в области космической деятельности во все большей степени смещается с уровня товарной конкуренции на более высокую ступень – на уровень национальных инновационных систем, включающих помимо непосредственного производства систему образования, фундаментальную и прикладную научную отрасль;

- встроенность в глобальные экономические отношения является одним из главных факторов, стимулирующих интенсивность инновационных процессов в космической деятельности и национальном хозяйстве в целом;

- возрастающий уровень сложности космической продукции и услуг и связанный с их созданием научно-технических и экологических проблем неуклонно повышают требования к уровню космических технологий, которые затем в соответствии с экономической целесообразностью и необходимостью тиражируются в других отраслях экономики;

- крупные космические предприятия в целях большей финансовой устойчивости и эффективности создают вокруг себя сети мелких компаний, осваивающих и продвигающих на рынке не только их вы-

сокотехнологичную продукцию, но и разработанные ими новые технологии [2].

Таким образом, космическую деятельность можно отнести к весьма перспективной сфере деятельности, уже сейчас приносящей большой вклад в экономику различных стран.

В настоящее время наблюдается устойчивый рост объемов продукции, выпускаемой промышленными предприятиями РКП. Увеличение объемов продукции обусловлено расширением работ по космической и боевой ракетной технике, наращиванием работ, выполняемых в интересах национальной экономики, а также работ для зарубежных заказчиков. Это безусловно свидетельствует об улучшении рыночных позиций предприятий, однако следует отметить, что зачастую рост основан на приспособлении к второстепенным рыночным нишам, упрощении производства и эксплуатации созданного в советский период научного и технологического задела без осуществления долгосрочных инвестиций в развитие [13]. Так, одним из наиболее крупных заказчиков предприятий РКП является нефтегазовый комплекс. Однако в большинстве случаев эта группа заказов не является высокотехнологичной и не требует концентрации инвестиций на технологических направлениях, интенсивно развивающихся на мировом рынке.

В промышленности обычных вооружений рост производства в 2007 г. в сравнении с 2006 г. составил 114,1 %.

В промышленности боеприпасов и спецхимии рост производства гражданской продукции достиг 107,5 %, в радиоэлектронном комплексе – 120,2 %.

По заявлениям, сделанным первым вице-премьером России Сергеем Ивановым в конце 2007 г., Россия вышла на рекордный для себя уровень экспорта вооружений. В 2009 г. предприятия ОПК получили 175 млрд руб. «В результате оборонно-промышленный комплекс действительно оказался одним из немногих, кто показал положительную динамику в прошлом году, там был прирост около 9 %», – отметил Дмитрий Медведев на очередном заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию, посвященному вопросам инновационного развития ОПК, проходящем 22 сентября 2010 г. [14].

По предварительной оценке на 2011–2020 гг. финансирование ОПК составит 22–22,5 трлн руб. Министр обороны России Анатолий Сердюков объявил, что российское военное ведомство намерено потратить на покупку нового вооружения и военной техники как минимум 19 трлн руб. до 2020 г. [15].

В настоящее время необходимым условием для повышения степени обеспечения обороноспособности страны является разработка и появление оружия, основанного на новых физических принципах (НФП) и модернизации стратегических и обычных вооружений, что становится возможным на основе применения асимметричных подходов и ответов на вызовы извне, а также путем поиска резервов развития инновационного и производственного потенциала предприятий ОПК [1].

Проблема по преодолению кризиса в инновационной и инвестиционной сферах является одной из труднейших и актуальнейших проблем в современной России. Подъем экономики на инновационной основе возможен лишь как результат совокупности системных преобразований, охватывающих все сферы общественной жизни, что предполагает укрепление роли государства и превращает его в основной регулятор и стимулятор финансово-экономических процессов.

Анализ состояния инновационной сферы в России свидетельствует о крайне низких показателях. Кризисные явления конца 1980 – начала 1990 гг. привели к существенному падению уровня инновационной активности: с 60–70 до 5–6 % в пореформенные годы. Его некоторое повышение в дальнейшем совпало с ростом основных макроэкономических показателей. Максимальное значение этого индикатора в 2000 г. было вызвано краткосрочным импортозамещением после финансового кризиса 1998 г. Затем его динамика стабилизировалась на отметке 9–11 %. В 2006 г. разработку и внедрение технологических инноваций осуществляли 9,4 % от общего числа предприятий отечественной промышленности, что выглядит весьма скромно на фоне Европейского Союза, включая страны Восточной Европы. Ближе всех к России по данному индикатору находятся Латвия (17 %), Болгария (18 %), Венгрия (21 %), Румыния (22 %). Гораздо более высокие значения наблюдаются в США (74 %), Германии (73 %), Ирландии (61 %), Бельгии (58 %), Эстонии (47 %) и Чехии (41 %) [16].

Одним из путей выхода российской экономики на стадию устойчивого инновационного развития является использование потенциала оборонно-промышленного комплекса [17; 18].

Из вышесказанного можно выделить основные факторы, оказывающие непосредственно влияние на работу предприятий оборонно-промышленного комплекса. Для удобства проведения анализа с целью выявления наиболее значимых рисков, которые могут негативно воздействовать на работу ОПК, их необходимо систематизировать.

Факторы, отражающие специфику работы ОПК, приведены в таблице.

Систематизация выделенных факторов, осуществленная с привлечением экспертов, была произведена по таким признакам как источник влияния, подверженность регулированию, учет неопределенности, характер информации, значимость фактора.

Рассматривая данные группы факторов (см. таблицу), оказывающие непосредственное влияние на развитие оборонно-промышленного комплекса, как на высокотехнологичное конверсионное производство можно провести анализ признаков и сделать выводы: является ли данный фактор релевантным, насколько поддается регулированию, в условиях неопределенности носит детерминированный или стохастический характер, а также подвержен он внешнему или внутреннему воздействию.

Так, например, факторы, входящие в группу «Производство»:

- уровень загрузки производственных мощностей;
- виды производства и тип оборудования;
- степень универсальности оборудования;
- уровень износа основных фондов.

Факторы рассматриваются с позиции внутреннего воздействия, т. е. на их уровень влияет деловая активность руководства предприятия, выбор оптимальной политики и тактики ведения производства. Поддается регулированию только «Уровень загрузки производственных мощностей». По степени важности относятся к релевантным, особенно «Уровень загрузки производственных мощностей», «Виды производства и тип оборудования». В условиях неопределенности степень возможного влияния этих факторов на результаты носит детерминированный характер.

Факторы, входящие в группу «Материально-техническое снабжение»:

- резервы увеличения объема поставок существующими поставщиками;
- надежность поставщиков;
- наличие альтернативных поставщиков;
- наличие субститутов на рынке.

Данные факторы не связаны с деятельностью предприятия или его контактной аудиторией, а значит, подвержены внешнему воздействию. Не поддаются регулированию. Релевантными факторами являются «Резервы увеличения объема поставок существующими поставщиками» и «Надежность поставщиков». В условиях неопределенности степень возможного влияния этих факторов на результаты носит в основном детерминированный характер (за исключением «Надежности поставщиков»), т. е. предприятия оборонно-промышленного комплекса из-за ненадежности поставщиков могут недополучить исходные материалы в результате срыва заключенных договоров о поставке. Следствием будет являться снижение эффективности использования имеющихся ресурсов и уровня рентабельности предприятия. Данный фактор можно отнести к группе рисков факторов, характеризующихся наличием изменений входных и выходных потоков и невозможностью их предвидения.

Анализ факторов оборонно-промышленного комплекса, должен проводиться с учетом потенциально возможных рисков, в том числе инновационных и экологических, так как данные виды рисков оказывают прямое влияние на финансово-экономическое положение предприятий ОПК.

Оборонно-промышленный комплекс, обладая передовыми технологиями и инновационной восприимчивостью, способен и призван при определенных условиях играть стратегическую роль не только в международной политике государства, но и в обеспечении нового качества и темпов экономического развития России, укрепляя тем самым ее национальную, экономическую и технологическую безопасность от ряда внешних и внутренних угроз.

Факторы, влияющие на развитие предприятий ОПК

№	Факторы	Фактор воздействия		Регулирование		Релевантность			Неопределенность	
		Внешний	Внутренний	Регулируемый	Нерегулируемый	I	II	III	Детерминированный	Стохастический
Производство										
1	Уровень загрузки производственных мощностей		+	+		1	1	3	+	
2	Виды производств и тип оборудования		+		+	2	2	2	+	
3	Степень универсальности оборудования		+		+	6	3	1	+	
4	Уровень износа основных фондов		+		+	3	5	6	+	
МТС										
1	Резервы увеличения объема поставок существующими поставщиками	+			+	1	1	4	+	
2	Надежность поставщиков	+			+	2	2	5		+
3	Наличие альтернативных поставщиков	+			+	5	3	1	+	
4	Наличие субститутов на рынке	+			+	6	7	2	+	
Маркетинг										
1	Объем государственного оборонного заказа	+			+	1	1	6	+	
2	Стабильность государственного оборонного заказа	+			+	2	4	7	+	
3	Наличие альтернативных рынков	+			+	4	2	1		+
4	Емкость рынков	+			+	5	5	2		+
Кадры										
1	Квалификационный уровень		+	+		1	1	1	+	
2	Условия и размер оплаты		+	+		3	4	7	+	
3	Возрастной состав		+		+	4	3	6	+	
4	Уровень загрузки		+	+		2	2	9	+	
5	Наличие внешнего кадрового потенциала	+			+	8	6	3	+	
6	Степень универсальности сотрудников		+		+	9	5	2	+	
Непрофильные и вспомогательные направления										
1	Наличие резервов по обслуживающей инфраструктуре		+		+	1	1	2	+	
2	Возможность использования мощностей, резервов		+		+	2	2	1	+	
Финансы										
1	Характер финансирования государственного оборонного заказа	+			+	1	1	5	+	
2	Способ и форма финансирования государственного оборонного заказа	+			+	2	3	6	+	
3	Форма и способы государственной инвестиционной поддержки развития конверсии	+			+	3	2	1	+	
4	Возможность использования коммерческих источников финансирования		+	+		4	4	2		+
НИОКР										
1	Наличие потенциала подразделений НИОКР		+	+		1	2	3	+	
2	Способность продукта к модификации		+		+	2	1	6	+	
3	Объем затрат на НИОКР		+	+		5	6	1		+
4	Сроки осуществления НИОКР		+	+		6	5	2		+
Управление										
1	Степень интеграции в корпорации		+	+		1	1	1	+	
2	Степень заинтересованности в изменениях		+	+		4	3	2	+	
3	Уровень формализации процессов управления		+	+		2	2	4	+	
4	Наличие накопленной информационной базы		+		+	3	5	5	+	

Библиографические ссылки

1. Ерыгин Ю. В., Лобков К. Ю. Устойчивое инновационное развитие предприятий ОПК: концепция, принципы и методы планирования : моногр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

2. Ерыгина Л. В. Методология и инструментарий контроллинга инновационного развития предприятий ракетно-космической промышленности : автореф. дис. ... д-ра экон. наук / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009.

3. Бажанов В. А., Соколов А. В. Инновационная значимость оборонно-промышленного комплекса России // ЭКО. 2008. № 3.
4. Марк Цициев. От советского ОПК к ОПК новой России // Журнал «Бюджет». 2007. № 5.
5. Рогожин, М. Ю. Справочник кадровика : практ. пособие. М. : ТК Вэлби : Проспект, 2004.
6. Российская Федерация. Постановления. О концепции инновационной политики Российской Федерации на 1998–2000 гг. : постановление Правительства РФ № 832 от 24.07.1998 г. // Собрание законодательства РФ. № 50. Ст. 6294.
7. Об итогах работы Федерального космического агентства по организации космической деятельности в 2006 г. Задачи по выполнению государственного заказа и развитию РКП на 2007 г. : решение коллегии Федерального космич. агентства № 17 от 19.01.2007 г.
8. Российская Федерация. Президент. Указы. Об утверждении военной доктрины РФ : указ № 706 от 21.04.2000 г.
9. Ленчук Е. Б., Власкин Г. А. Финансирование инновационной деятельности в России // ЭКО. 2005. № 12.
10. Беляков Г. П. Оборонно-промышленный комплекс: проблемы реформирования и развития : моногр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2003.
11. Пич Г., Шерм Э. Уточнение содержания контроллинга как функции управления и его поддержки // Проблемы теории и практики управления. 2001. № 3.
12. Григорьев В. В., Федотова М. А. Оценка предприятий: теория и практика. М. : Инфра-М, 1997.
13. Билевская Э. Независимая газета Армейский заказ на инновации. 2010.
14. Инновационное развитие – основа модернизации экономики России : нац. доклад. М. : ИМЭМО РАН : ГУ-ВШЭ, 2008.
15. Об итогах социально-экономического развития РФ за 2004 г. и задачах экономической политики РФ на 2005 г. [Электронный ресурс] : отчет министерства эконом. Развития и торговли. URL: www.GOV. @ru/.
16. Пименов В. В. Организационные блуждания оборонного комплекса // Конверсия в машиностроении. 2005. № 2.
17. Осипенко В. Б. Инструменты оценки эффективности реструктуризации предприятий оборонно-промышленного комплекса : дис. ... канд. экон. наук. Красноярск : СФУ, 2008.
18. Макаров Ю. Н., Хрусталева Е. Ю. Механизмы реструктуризации наукоемких производств // Экономика и математические методы. 2010. № 3.

L. V. Erygina, N. N. Shatalova

SYSTEMATIZATION OF FACTORS WHICH INFLUENCE ON DEVELOPMENT OF MILITARY INDUSTRY COMPLEX ENTERPRISES

The authors reveal the main factors, which influence directly on work process of Military Industrial Complex (MIC) enterprises, and systematize them with the view of defining the most significant factors which can produce negative influence on work of the enterprises.

Keywords: military industrial complex, advanced technology conversion manufacturing, key steps of reformation and development of MIC enterprises, structure of MIC enterprises, factors influencing on development of MIC enterprises, risks.

© Ерыгина Л. В., Шаталова Н. Н., 2011

УДК 658

А. А. Кравец, В. В. Кукарцев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Предложена методика совершенствования системы мониторинга показателей качества медицинской помощи, на основе современных информационных технологий. Описаны основные этапы формирования системы и целесообразность внедрения мониторинга в систему государственного здравоохранения.

Ключевые слова: здравоохранение, мониторинг, показатели качества.

Современные требования к качеству оказания медицинской помощи меняются с обеспечения социальных гарантий по оказанию медицинской помощи на проблемы повышения их эффективности. Общая оценка эффективности расходов на здравоохранение предполагает определение соотношения достигнутого

социально значимого результата и потраченных при этом ресурсов.

При этом применение единой системы показателей для оценки результативности общественных расходов в здравоохранении позволяет оценивать степень достижения поставленных целей по повышению

эффективности использования ресурсов при помощи числовых критериев. Использование такого подхода упрощает сравнение результативности оказываемых услуг как между отдельными ЛПУ, так и между различными муниципальными образованиями и регионами.

При оценке эффективности расходования ресурсов должны быть определены [1]:

- набор индикаторов, характеризующих достижение поставленных целей;
- нормативные значения контрольных индикаторов;
- шкала для численной оценки полученных результатов, предполагающая единый алгоритм оценки отклонения достигнутых показателей от нормативного значения.

На основании оценки степени отклонения достигнутых показателей от нормативного значения определяется общий коэффициент достижения результатов. В работе [1] делается попытка выделения следующих критериев результативности деятельности медицинских учреждений:

- степень достижения поставленных целей, выраженная через сопоставление достигнутых и плановых показателей;
- экономическая эффективность использования ресурсов;
- правильность выбора медицинских технологий и соблюдения стандартов их качества.

При оценке полученных показателей эффективности предлагается в работе [2] исходить из следующих критериев:

- эталона показателя, к которому должны стремиться работники системы здравоохранения ($K_m = 1$), а в случае экономической эффективности ($K_s > 1$);
- среднего показателя для лечебно-профилактического учреждения, отделения, региона в целом;
- динамики данного показателя у конкретного врача, в отделении, в лечебно-профилактическом учреждении.

Выполняя во многом социальные функции, учреждения здравоохранения ориентированы в своей деятельности на определенные результативные показатели.

Под результативностью понимается степень достижения поставленных целей. Показатели результативности медицинских услуг могут быть разбиты на три основные группы [1]:

1) медицинские показатели: объёмы оказанных медицинских услуг по видам медицинской помощи и отдельным специальностям, количество пролеченных пациентов с определённым заболеванием или относящихся к определённой социальной группе, удельный вес излеченных больных, снижение уровня заболеваемости населения и т. п.;

Показатель медицинской эффективности (K_m) рассчитывается по следующей формуле [3]:

$$K_m = \frac{\text{Число случаев достигнутых медицинских результатов}}{\text{Число оцениваемых случаев}};$$

2) социальные показатели уровня показателей смертности и инвалидности, рождаемости, средней продолжительности жизни населения, заболеваемости, удовлетворенность общества в целом системой оказания медицинской помощи;

3) экономические показатели: затраты на оказание медицинских услуг, удельный вес расходов на оплату определённых видов медицинской помощи, отдельные показатели использования финансовых средств.

Показатель экономической эффективности в общем виде (K_s) можно рассчитать по следующей формуле [3, с. 45]:

$$K_s = \frac{\text{Экономический эффект}}{\text{Экономические затраты, связанные с экономической программой}}.$$

Расчет экономической эффективности связан с поиском наиболее экономичного использования имеющихся ресурсов. Этот показатель является необходимым составляющим звеном в оценке функционирования системы здравоохранения в целом, отдельных ее подразделений и структур, а также экономическим обоснованием мероприятий по охране здоровья населения.

Для выявления и прогнозирования возможных негативных тенденций в системе здравоохранения необходимо отслеживать эффективность в динамике. Это осуществляется через мониторинг темпов изменения показателей по следующей формуле, предложенной авторами работы [4]:

$$T = \frac{It^0}{It^1} \times 100 \%,$$

где T – темпы изменения показателя; It^0 – показатель отчетного периода; It^1 – показатель текущего периода.

«Система проявляет тенденцию к росту эффективности, если темп изменения характеризуется ростом более чем 105 %, сложившаяся система стабильна при соответствующих значениях темпа изменения в интервале 95–105 % и проявляет тенденцию к снижению эффективности при темпе изменения менее 95 %» [5].

Организация мониторинга показателей качества медицинской помощи в регионе с применением информационных технологий позволяет отслеживать полученные данные с учетом временного аспекта, своевременно выявлять и прогнозировать изменение показателей, что в целом дает возможность контролировать качество оказываемой медицинской помощи и уровень здоровья населения региона.

Мониторинг показателей качества медицинской помощи представляет собой непрерывный процесс сбора информации с целью определения того, насколько эффективно реализуются программы оказания медицинской помощи на различных уровнях, какие при этом происходят изменения и какие издержки сопряжены с указанными процессами. Задача мониторинга состоит в отслеживании изменений, которые происходят с течением времени в контрольных пока-

зателях, при помощи создания системы регулярной отчетности, на основе оценки оказания медицинских услуг. Мониторинг позволяет руководителям системы здравоохранения совершенствовать процесс планирования стратегических решений и корректировать проводимую политику в случае возникновения ошибок, различных ограничений и т. д. [6].

Современные информационные технологии позволяют реализовать необходимые этапы: сбор, обработку, анализ и прогноз состояния контролируемой системы. Наряду с этим в Концепции развития системы здравоохранения в РФ до 2020 г. отмечено, что существующий уровень информатизации не позволяет оперативно решать управленческие задачи по достижению необходимых целевых показателей [7].

В силу сложившихся условий и причин возрастает потребность в методическом обосновании совершенствования мониторинга качества медицинской помощи на основе современных компьютерных информационных системах.

Необходимо отметить, что качественная система мониторинга должна соответствовать ряду характеристик [1]:

- простота – система должна напрямую и наиболее простым способом собирать все необходимые данные;

- гибкость – система должна легко меняться, особенно в том случае, если текущая оценка показывает, что изменения необходимы или желательны. Например, может появиться необходимость добавить информацию о другом виде регистрируемых медицинских услуг либо изменить целевую выборку, чтобы охватить определенный тип заболеваний;

- приемлемость для участников – важно убедиться в том, что конечные пользователи получают нужные им результаты, которые всегда открыты для комментариев и предложений по улучшению;

- надежность – все пользователи данных, получаемых системой мониторинга, должны быть абсолютно уверены в точности этих данных;

- практичность – система должна быть практичной и доступной;

- устойчивость – система должна функционировать при минимуме затрачиваемых усилий, легко поддерживаться и обновляться, продолжая служить своим целям с момента ее организации;

- своевременность – система должна содержать по необходимости самую современную информацию;

- безопасность и конфиденциальность – это две важнейшие черты системы мониторинга. Записи индивидуальных случаев должны храниться в полной тайне. Более того, система не должна раскрывать личную информацию.

С учетом этого подробно остановимся на этапе проектирования и построения системы мониторинга. Проектирование данной системы предлагается реализовывать в 9 этапов, которые будут обязательными, независимо от размера и вида организации, будь то органы управления здравоохранением, учреждение здравоохранения или любая другая организация, за-

интересованная в информации о качестве оказываемых медицинских услуг.

Предлагаем представить в виде схемы логическую последовательность шагов формирования системы мониторинга показателей качества медицинских услуг (см. рисунок).

Процесс управления предполагает выявление имеющихся проблем, причин возникновения проблем, выработку решений по преодолению проблемной ситуации, проведение сравнительного анализа возможных решений, реализацию решения по намеченному плану и затем на основе показателей – осознание эффективности реализации принятого решения по данной проблеме [4].

Система поддержки процессов управления и принятия решений строится на последовательности цепи «цели–функции–задачи», обеспечивая управленческие решения, начиная с момента возникновения проблемной ситуации и заканчивая этапом контроля и мониторинга соответствующего показателя качества.

На первом этапе необходимо определить, для чего проектируется система мониторинга. Например: для улучшения системы оказания медицинских услуг, улучшения качества предоставляемых медицинских услуг, определения тех сфер, где наиболее необходимо вмешательство, определения тех сфер, где можно было бы снизить затраты на здравоохранение, обеспечения профилактики заболеваний, обеспечения данных, которые важны при принятии управленческих решений (например, как распределить ограниченные ресурсы, чтобы получить наилучшие результаты), контроля и оценки эффективности медицинских программ.

Для наибольшей результативности мониторинга процедура определения индикаторов оценки объекта мониторинга должна быть реализована на втором этапе проектирования. Индикаторы качества медицинской помощи отражают количественную характеристику эффективности. В условиях бюджетных ограничений индикаторы оценки указывают на более рациональное использование ограниченных человеческих и материальных ресурсов с целью достижения желаемых результатов.

В процессе выбора и формулировки измеряемых индикаторов должны учитываться также такие свойства индикатора, как его количественные значения, качество, временные рамки и задачи. Под качеством понимается степень точности значения индикатора и то, насколько точно индикатор отражает характеризующий показатель. К временным рамкам относятся частота измерения индикатора и временной период, которому соответствует его значение.

На этапе выбора и оценки потенциальных источников, данных мониторинга, можно определить, какие источники содержат достаточное количество необходимых данных, установить взаимодействие с организациями, ответственными за сбор этих данных и разработать механизмы для сбора, обработки, интерпретации и предоставления данных.



Схема формирования системы мониторинга

Этап объединения модулей медицинской информационной системы предполагает интеграцию всех необходимых информационных потоков на всех уровнях в части организации и оказания медицинской помощи в государственном здравоохранении.

Большинство медицинских информационных систем (МИС) имеют различную архитектуру построения и направлены скорее на информатизацию лечебного учреждения (ЛПУ), а не непосредственно на информационное обеспечение пациента. Отчасти, в этом и состоит корень всех проблем внедрения информационных технологий (ИТ) в сфере здравоохранения. Различные ЛПУ имеют различные условия для информатизации, что осложняет формирование единой МИС. Для построения глобальной ИТ инфраструктуры здравоохранения необходимо реализовать систему адаптации информационных сред ЛПУ в единое информационное пространство.

На этапе решения задачи сбора данных необходимо использовать существующую региональную информационную медицинскую сеть, объединяющую организации здравоохранения региона. Специализированное программное обеспечение, функционирующее в медицинских учреждениях, предназначено для регистрации медицинских услуг, формирования ста-

тистической отчетности и счетов по обязательному медицинскому страхованию.

Возможности используемого программного обеспечения для эффективного управления системой медицинских учреждений в целом практически отсутствуют; в настоящее время назрела необходимость перехода от учетной системы к комплексной системе управления. Использование мониторинговых подходов для анализа показателей качества медицинского обслуживания населения требует совершенствования информационного обеспечения, ориентированного на развитие системы здравоохранения с целью получения качественной и достоверной информации и разработки процедуры ее использования [6].

Необходимость этапа формирования хранилища данных основывается на том, что персонализированный учет предполагает накопление огромного количества информации, распределенной по множеству таблиц, использование ее для мониторинга показателей качества без преобразований обобщающего характера вряд ли представляется. Формирование хранилища данных позволит осуществлять аналитические функции в существующей системе.

Для реализации данного подхода необходимо первичную информацию превращать в объекты управле-

ния путем агрегирования первичных данных в некоторые обобщенные показатели деятельности. Исходными данными будут являться данные регистра застрахованного населения, счетов-реестров по оказанной медицинской помощи и единой системы ведения справочников. Для организации системы мониторинга минимально необходимая задача формирования хранилища данных состоит в создании такой модели данных, которая содержит следующую информацию: возрастные группы пациентов, половой признак, абсолютное число обращений и интенсивный показатель на обратившихся 1000 пациентов.

Анализ данных осуществляется на основе распределения пациентов по половозрастным группам и подсчета их количества. После подсчета количества пациентов определяется частота (кратность) обращений по конкретному диагнозу данным пациентом.

Этап оценки системы мониторинга подразумевает, что система-мониторинг нуждается с начала своей работы в постоянном контроле и периодической оценке, которые необходимы для быстрого выявления и устранения возможных неполадок. Следует назначить человека, который будет контролировать систему и сообщать о возникших проблемах, связанных с качеством и объемом имеющихся данных.

Система мониторинга должна постоянно проверяться на степень достижения поставленных целей системе, а именно: способности системы определять все случаи, попадающие в рамки системы мониторинга, правильно классифицировать их данные по каждому случаю и соответствие полезности данных, продуцируемых системой, для конечных пользователей. В случае, когда процесс мониторинга не отражает в полном объеме реальную картину исследуемого процесса, связанную с недостаточной верной организацией структуры хранилища, необходимо произвести его доработку в тех модулях, где выявлены недостатки.

Анализ результатов информационного мониторинга услуг здравоохранения заканчивается этапом вывода результатов, которые фиксируются в специальных отчетах в виде витрины данных, доступных для управленческих структур, участвующих в мониторинге. Подключение всех участников к Интернету (или во внутренней локальной сети) позволяет получать актуальную информацию в режиме реального времени.

Оценка результатов проведенного мониторинга позволит ответственным лицам сделать необходимые выводы, провести корректировку реализуемых медицинских программ.

Мероприятия, показавшие свою результативность в процессе мониторинга, могут воспроизводиться в рамках новых медицинских программ, а действия, которые не привели к положительным результатам, могут быть в будущем пересмотрены.

Реализация механизма информационного мониторинга, организуемого на базе показателей качества медицинской помощи, направлена на обеспечение эффективности оказания медицинских услуг, что в целом способствует успешному функционированию и

развитию сферы здравоохранения в Российской Федерации.

Для совершенствования мониторинга показателей качества должны быть решены следующие задачи:

- определен набор индикаторов, отражающих в полной мере уровень оказания качества медицинской помощи и их предельные значения для возможности автоматизированного контроля;

- разработана структура хранилища данных для возможности реализации мониторинга по выбранным показателям;

- описаны действия системы в том случае, когда индикаторы принимают критически негативные значения.

Совокупность определенных индикаторов управления, контролируемых в системе мониторинга, позволят целостно описать состояние дел в государственном здравоохранении.

Так как индикаторы рассчитываются алгоритмически, любые изменения в первичных данных автоматически будут вести к изменению значений показателей и соответственно отражаться в индикаторах управления в информационной системе, позволяющей оценивать качество оказываемых медицинских услуг в режиме реального времени. Ввиду того, что каждый индикатор выражает количественную и качественную характеристику объекта управления, возникает возможность динамически оценивать любые изменения, определяя негативные и положительные тенденции и степень изменения данного объекта в определенный момент времени.

Библиографические ссылки

1. Александрова А., Колесник А., Якимович. Методика мониторинга результативности услуг здравоохранения на муниципальном уровне // Муниципальная экономика. 2006. № 1.
2. Шамшурина Н. Г. Показатели социально-экономической эффективности в здравоохранении. М. : МЦФЭР, 2005.
3. Столяров С. А., Колядо В. Б. Краткий курс экономики здравоохранения. Барнаул : Изд-во АГМУ, 2005.
4. Сборник методической материалов по повышению экономической эффективности деятельности участников системы ОМС на территориальном уровне / под ред. А. М. Таранова, Д. Н. Усенко. М. : Федер. фонд ОМС, 2006. Т. 6.
5. Музыра Ю. А., Малаховская М. В., Морозова Э. Г. Комплексная оценка эффективности системы управления аптечной организацией. М. : МЦФЭР, 2003.
6. Ипатова Л. Н., Агафонова В. В. Инструментальные средства поддержки мониторинга медицинских услуг // Вестн. самар. гос. экон. ун-та. Самара, 2006. № 1(19). С. 146–152.
7. Концепция развития системы здравоохранения в Российской Федерации до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: www.zdravo2020.ru.

A. A. Kravets, V. V. Kukartsev

PERFECTION OF MONITORING OF INDICATORS OF MEDICAL AID QUALITY IN THE STATE PUBLIC HEALTH SERVICES

In this article the authors offer a method for perfection of monitoring of indicators of medical aid on the basis of modern technologies. Main stages of development of the system and practicability of such a system is described.

Keywords: public health services, monitoring, quality indicators.

© Кравец А. А., Кукарцев В. В., 2011

УДК 338.24.01

Г. С. Михалев, Л. Р. Батукова

ОРГАНИЗАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СРЕДНИХ МНОГОПРОФИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КОРПОРАТИВНОГО ТИПА

Проанализированы организационно-правовые и организационно-экономические аспекты средних многопрофильных предприятий корпоративного типа, проблема отхода собственника среднего предприятия от активного управления.

Ключевые слова: средние многопрофильные предприятия корпоративного типа, малые многопрофильные корпорации (ММК), корпорация, система управления корпорацией, капитализационные условия.

В социально-экономической системе России в настоящий период выделилась особая группа полипродуктовых предприятий средней численностью (50–70, 250–350). Опыт индустриально развитых стран показывает, что эти предприятия можно рассматривать как перспективную стадию развития бизнеса, которая при благоприятных условиях трансформируется в крупные корпоративные формы. Такой путь прошли многие известные корпорации: 3М, Hewlett-Packard, Sony, IBM, Motorola и др. Поэтому данные предприятия приобретают особое значение для экономики страны.

Средние полипродуктовые компании соединяют черты малого бизнеса, а также крупных многопрофильных компаний (корпораций). В экономической литературе за данным типом предприятий закрепилось название малых многопрофильных корпораций (ММК) [1; 2]. Однако употребление в данном случае термина корпорация весьма спорно, так как его интерпретация в различных экономико-правовых системах неоднозначна.

Так, в англосаксонской системе правого и экономического регулирования понятием корпорация охватывается самый широкий круг организационно-правовых форм ведения бизнеса. Всех их объединяет то, что они представляют собой «искусственное образование, невидимое, неосознаваемое и существующее только с точки зрения закона», т. е. имеют «фиктивный характер».

В континентальной системе правого и экономического регулирования понятие корпорация распространяется на широкий круг ОПФ: коммандитные товарищества на акциях, различные модификации акционерных обществ (финансовые холдинги, концер-

ны, в некоторых случаях – финансово-промышленные группы) и даже общество с ограниченной ответственностью (эта позиция не бесспорна: общество с ограниченной ответственностью рассматривается как промежуточная (смешанная) форма между акционерным обществом и персональным объединением).

В отечественном законодательстве термин корпорация не используется вовсе, следовательно, официального определения корпорации нет. В экономической среде России под корпорацией (практически) принято понимать предпринимательское «капитальное общество» в форме ОАО, имеющее значительную долю рынка на федеральном уровне либо долю мирового рынка; развитую систему управления, сформированную на основе привлечения наемного менеджмента. И хотя в научной среде России понятие корпорация понимается более широко (с учетом опыта зарубежного корпоративного развития), практическая интерпретация понятия довлеет во всех официальных проявлениях социоэкономической жизни и признается основной. Поэтому под корпорацией в российской экономико-правовой системе в настоящее время понимается предпринимательская организация, которая:

1) в организационно-правовом аспекте имеет юридический статус, закрепляющий:

– ограниченную ответственность (корпорация отвечает по своим обязательствам собственным имуществом, т. е. владельцы могут потерять только то, что инвестировали);

– простой переход права владения путем продажи акций;

– оговоренный период существования (может быть неограниченным);

2) в организационно-экономическом аспекте характеризуется:

– отделением функции управления от функции владения и сосредоточением функции управления в руках профессиональных управляющих, работающих по найму;

– развитой организационной структурой;

– широким диапазоном видов деятельности (развитой системой стратегических зон хозяйствования – СЗХ), или ограниченным спектром видов деятельности, но занимающих существенное положение на соответствующем рынке;

– развитой системой хозяйственных связей.

Учитывая все выше сказанное, организационно-правовая форма, оргструктура, форма правления и система управления специфического образования типа ММК вполне подходит под понятие корпорация в англосаксонской системе правового и экономического регулирования. С определенными оговорками ММК может подпадать под понятие корпорация в континентальной системе правового и экономического регулирования. В то же время, предприятия данного типа не в полной мере соответствуют общепринятому в экономико-правовой системе России понятию «корпорация», хотя и обладают общими с ними характеристиками. Поэтому мы считаем более правильным данные предприятия называть средними многопрофильными предприятиями корпоративного типа, а с целью сокращения – СМПК.

«Корпоративный тип» указывает на их сходство с корпорациями по существу, а также на перспективы их трансформации в корпорацию, в общепринятом понимании смысла этого слова. «Средними», данные предприятия названы потому, что они имеют, как правило, более высокую численность, чем малые предприятия, а часто и чем средние. Численность их работников варьирует от 50–70 до 250–350, а в отдельных случаях превышает 500 человек. В то же время к крупным, даже при значительной численности, их отнести нельзя, так как чаще всего они представляют собой в достаточной степени механическое объединение мелких принципиально различных производств и услуг, часто разрозненных даже территориально и объединенных только на уровне собственника – директора (в качестве которого выступает одно и то же лицо) и функциональных экономических служб.

На таком предприятии большинство акций принадлежит одному владельцу, семье или узкой группе акционеров [1; 2]. Неотъемлемая особенность СМПК в том, что в подавляющем большинстве случаев предприятие существует в форме ООО или ЗАО и управляется непосредственно собственниками. В ходе развития и трансформации бизнеса это приводит к ряду типичных для СМПК проблем.

Наиболее значимые проблемы состоят в том, что на определенном этапе существования компании собственник-управленец сталкивается с необходимостью передачи управления наемному менеджменту либо продажи бизнеса (всего или его частей). Причин здесь

может быть выделено несколько, в том числе следующие:

– старение собственников-управленцев и необходимость передачи управленческой функции более молодому менеджеру;

– нежелание собственника дальше заниматься конкретно данным бизнесом;

– укрупнение бизнеса, которое приводит к необходимости привлечения более профессиональных, а часто более специализированных управленцев;

– необходимость сузить диверсификацию и специализироваться на определенных рынках.

Уже сегодня можно говорить, что нерешенность проблемы отделения функции управления от функции владения у СМПК является причиной многих банкротств. Это тем более актуально для России, так как неразвитость правовых и экономических механизмов защиты прав собственности на бизнес приводит к скорому отчуждению СМПК у тех собственников, которые теряют фактический управленческий контроль. Поэтому необходимы исследования в данном направлении и выработка оптимальных подходов к разрешению проблемы. Передача управления бизнесом с сохранением прав собственности может осуществляться собственником в различных формах, в том числе посредством:

– найма профессионального топ-менеджмента с сохранением организационно-правовой формы и установлением владельческого контроля;

– продажи долей бизнеса с передачей права управления бизнесом новому собственнику;

– продажи отдельных направлений бизнеса с сохранением центральной бизнес-единицы;

– смены ОПФ на ОАО и соответствующим изменением системы управления и контроля и прочие, специально разработанные формы.

Если не найдена оптимальная форма передачи управления бизнесом с сохранением прав собственности, то остается крайний вариант – продажа бизнеса.

Таким образом, проблема продажи бизнеса весьма актуальна и как самостоятельная проблема и как крайний вариант решения проблемы отхода собственника от управления бизнесом.

В целом, все формы реорганизации системы владения и управления СМПК основываются на двух базовых механизмах: фондовом и не фондовом.

В настоящее время наиболее разработан и понятен фондовый механизм реорганизации системы владения и управления компанией. Когда собственник решает сделать компанию публичной (преобразовать ее в ОАО), он в соответствии с законодательством готовит ее на юридическом и организационно-экономическом уровнях. Но это доступно очень немногим СМПК в условиях российской экономической действительности, так как имеется проблема эффективности размещения. Небольшие компании, у которых нет надежной, обоснованной перспективы значительного расширения бизнеса, скорее всего ничего не выиграют от этой дорогостоящей процедуры, но могут значительно проиграть.

Поэтому, реорганизация системы владения и управления СМПК для решения вышеперечисленных проблем на основе нефондовых механизмов часто наиболее приемлема в сегодняшних условиях российской действительности. Но и она сопряжена со сложностями.

К нефондовым механизмам, приемлемым в данном случае, мы относим следующие, основные:

- механизм передачи управления наемному топ-менеджменту с сохранением ОПФ и права собственности и установлением владельческого контроля;
- механизм продажи части бизнеса;
- механизм продажи предприятия как действующего бизнеса.

Данные механизмы менее формализованы, чем фондовые, но и они имеют ряд сложностей при реализации.

Это обусловлено тем, что капитализационные условия СМПК не до конца сложились. Под капитализационными условиями мы понимаем те организационно-экономические характеристики предприятия, которые:

- в совокупности обеспечивают объективные предпосылки отделения функции владения от управления с установлением контроля над бизнесом со стороны владельца;
- дают возможность максимально эффективного проведения процедуры продажи части бизнеса или всего бизнеса, таким образом, чтобы гарантировать соблюдение интересов обеих сторон – и продавца и покупателя.

В таблице автором приведены некоторые капитализационные условия корпораций (ОАО) в сопоставлении с аналогичными у СМПК. Даже общий взгляд на капитализационные условия средних многопро-

фильных предприятий корпоративного типа, представленные в таблице, свидетельствует о необходимости их «доформирования» с целью установления владельческого контроля. Сущность этого процесса заключается в том, чтобы развить ряд организационных аспектов СМПК, доведя их до уровня, максимально приближающегося к уровню организационного развития соответствующих аспектов ОАО.

Это обеспечит возможность решить проблему разделения на фактическом и формальном уровнях функции владения и управления СМПК.

В то же время, надо иметь ввиду, что это затратное мероприятие ляжет дополнительным финансовым бременем на бизнес. Это обусловлено тем, что организационное развитие «утяжелит» систему управления: потребует дополнительной формализации процедур, возможно – увеличения штатов, дополнительных затрат на информатизацию и пр. Поэтому должны быть произведены соответствующие экономические расчеты и обоснования.

Если СМПК не сможет выдержать дополнительных расходов, то от идеи установить контроль со стороны собственников и отойти от дел управления следует отказаться. В данном случае возможен вариант продажи части бизнеса или бизнеса целиком. При этом, как правило, покупатель понимает, что покупает бизнес, где система владения не отделена от системы управления.

Но и даже эта процедура потребует дополнительных затрат на предпродажную подготовку, которая так же заключается в организационном развитии СМПК, в том числе ряда капитализационных условий. Это позволит представить бизнес в наиболее привлекательном виде, что безусловно отразится на его цене.

**Капитализационные условия корпораций (ОАО)
в сопоставлении с аналогичными у СМПК**

Капитализационные условия	Субъекты хозяйствования	
	Корпорация (КП)	Среднее многопрофильное предприятие корпоративного типа (СМПК)
Уровень разделения функции владения и функции управления	Осуществлено разделение формально (юридически) и фактически прав собственности и полномочий управления	Частичное отделение прав собственности от полномочий управления. Ряд управленческих функций не формализовано и «завязано» непосредственно на собственника
Форма перехода прав собственности	Переход права владения путем продажи акций, что на практике означает наиболее простую, формализованную и безопасную форму перехода прав владения	Продажа долей бизнеса (или акций в случае ЗАО) или всего бизнеса, что сопряжено с большой подготовительной работой и большими рисками, так как права владения и управления не разделены
Уровень ответственности у учредителей	Ограниченная ответственность учредителей и инвесторов, проявляющаяся в том, что за деятельность корпорации инвестор отвечает только в размере принадлежащей ему доли собственности	То же, что у «корпорации», в связи с тем, что основная форма организации – ООО
Уровень финансовых резервов	При благоприятном развитии бизнеса накапливается и поддерживается значительный уровень финансовых резервов, за счет которых может осуществляться финансирование в кризисные годы	Низкий уровень финансовых резервов. В случае кризиса и отсутствия прибыли по всем направлениям быстрое разорение
Источники финансирования развития	Банки, фондовый рынок	Средства берутся займы у друзей, родственников, других предпринимателей, а также в банке. Фондовый рынок не используется

Таким образом, анализ капитализационных условий и организационное развитие является центральным звеном при решении ряда значимых проблем СМПК. В данном процессе должно активное и целенаправленное участие принимать собственник компании. Это позволит трансформировать систему владения и управления компании в более зрелые формы, избежать снижения темпов развития и разорения компании.

Библиографические ссылки

1. Клейнер Г. Б., Тамбовцев В. Л., Качалов Р. М. Предприятие в нестабильной рыночной среде: риски, стратегия, безопасность. М. : Экономика, 1997.
2. Клейнер, Г., Качалов Р., Данилина Я. Управление малыми многопрофильными корпорациями // Проблемы теории и практики управления. 2001. № 3.

G. S. Mikhalev, L. R. Batukova

ORGANIZATIONAL DEVELOPMENT OF MEDIUM-SIZED MULTI-INDUSTRY ENTERPRISES OF CORPORATE TYPE

In the article the authors analyze organizational-legal and organizational-economic aspects of medium-sized multi-industry enterprises of corporate type, a problem of the average enterprise proprietor withdrawal from active management.

Keywords: average versatile enterprises of corporate type, small multi-industry corporations, corporation control system, capitalization conditions.

© Михалев Г. С., Батукова Л. Р., 2011

УДК 338.28

Д. В. Разжевайкин

МЕХАНИЗМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Современный политический курс, направленный на модернизацию экономики путем развития инновационной сферы, актуализирует проблемы методологии в оценке этой сферы. В частности, объектом инновации является продукция, но как оценить степень влияния инновации на продукцию? В данной статье предложена авторская трактовка понятия инновационности продукции, а также описан общий и специальный (для гражданской авиации) механизм её оценки через индекс инновационности продукта.

Ключевые слова: индекс, инновация, продукция, самолет.

С позиции системного анализа инновационной деятельности на предприятии представляется интересным определение инновационной составляющей в продукции, производимой предприятием. Такие составляющие в целом будут составлять инновационность продукции.

Инновационность продукции – показатель, характеризующий степень изменения конкретного вида продукции за счет внедрения инновации или комплекса инноваций.

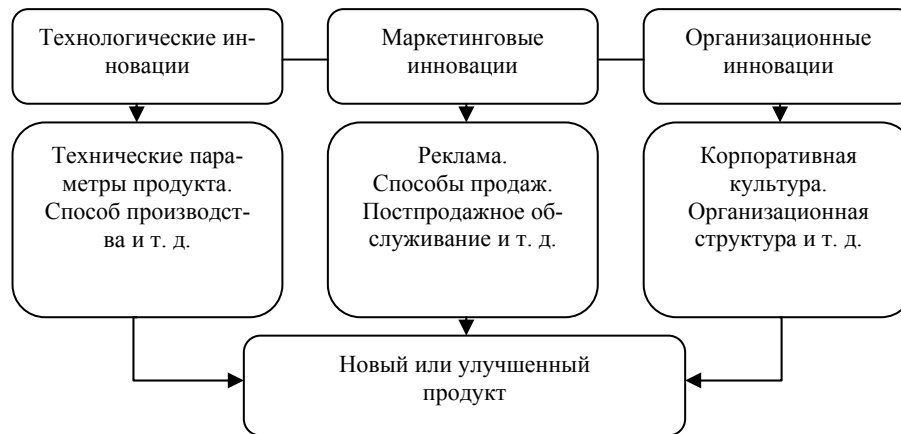
Необходимо отметить, что существует несколько видов инноваций, прямо или косвенно влияющих на инновационность продукции. Так, различают технологические, маркетинговые и организационные инновации.

Технологические инновации подразумевают инновации как в продукции (прямое влияние), так и инновации в способах и технологиях производства (косвенное влияние). Маркетинговые и организационные инновации косвенно влияют на инновационность продукции, так как объектом таких инноваций явля-

ется сбыт, реклама, корпоративная культура и прочие составляющие производственного и постпроизводственного процессов (см. рисунок).

В результате применения и внедрения инноваций продукция предприятия подвергается качественному улучшению, которое в свою очередь улучшает показатели работы предприятия в целом. В свете этого представляется важным определить, как и насколько применение инноваций положительно изменило характеристики продукции и показатели работы предприятия.

Для этого введем понятие индекса инновационности продукции (далее ПИ – Product Innovation Index). Этот индекс количественно характеризует степень инновационности каждого конкретного продукта, полученную за счет внедрения только технологических инноваций. Маркетинговые и организационные инновации должны быть учтены при системном анализе инновационной деятельности предприятия в целом, так как на конкретный вид продукции они имеют косвенное влияние.



Виды инноваций

Также необходимо отметить, что для целей расчета РИ предлагается использовать бальные оценки, рассчитываемые исходя из критериев, определенных экспертным путем для каждого конкретного вида продукции. Далее разрабатывается специальная метрика оценки, позволяющая в полной степени определить, насколько та или иная инновация повлияли на конкретный вид продукции и показатели работы предприятия в целом. Механизм разработки такой метрики следующий:

- 1) определение категорий оценки $k = 1 \dots n$;
- 2) определение оцениваемых показателей в категориях $m = 1 \dots n$;
- 3) определение бальной шкалы для оценки в баллах – S ;
- 4) определение критериев оценки для каждого конкретного показателя;
- 5) ранжирование показателей в каждой конкретной категории;
- 6) присвоение весов каждому конкретному показателю – W_m ;
- 7) расчет индексов по каждой категории по формуле $I_k = \frac{\sum S_m \times \sum W_m}{\sum W_m}$;
- 8) ранжирование категорий;
- 9) присвоение весов каждой категории – W_k ;
- 10) подсчет РИ по формуле $PII = \sum_{k=1}^n I_k \times W_k$.

Рассчитаем РИ для продукции авиационной промышленности, в частности для самолетов гражданского назначения. В качестве основных категорий возьмем следующие:

- потребительские характеристики;
- технические параметры;
- экономический эффект;
- интеллектуальная собственность;
- другие характеристики.

Каждая из представленных категорий является индивидуальной для каждого вида продукции. Например, если говорить о самолете гражданского назначения, то он обладает иными потребительскими характеристиками, нежели истребитель или грузовой

самолет. Так, основными потребительскими характеристиками гражданского самолета будут безопасность, надёжность элементов, комфортабельность, технологичность, экономичность, топливная эффективность, экологичность и т. д. (см.: URL: <http://www.sukhoi.superjet100.com>).

Для целей расчета индекса предполагается использовать процентное улучшение данных характеристик, измеряемое экспертным путем. При этом расчет улучшения каждого отдельного показателя должен производиться по собственной методике.

Основными техническими характеристиками гражданского самолета будут являться надёжность элементов (отказы), взаимозаменяемость элементов, пассажирская вместимость, крейсерская скорость, потребная длина взлетно-посадочной полосы, максимальная высота полета, максимальная дальность полета при полной пассажирской загрузке, максимальный взлетный вес, максимальный посадочный вес, максимальная коммерческая загрузка, длина самолета, высота самолета, размах крыла, база шасси, колея шасси, уровень шума и т. д.

Если говорить об экономическом эффекте от внедрения инновации/инноваций, то в разрезе гражданского самолетостроения предлагается использовать следующие показатели: снижение себестоимости, рост объема продаж, рост чистой прибыли и рост доли рынка.

Немаловажной категорией является «Интеллектуальная собственность». Она предполагает отражение влияния инновации/инноваций на нематериальные активы предприятия, патентозащищенность, а также торговлю интеллектуальной собственностью. Так, для самолетов гражданского назначения применимы следующие показатели: наличие российского и/или международного/триадического (США, ЕС, Япония) патента на инновацию/инновации, учёт инновации/инноваций в качестве нематериальных активов или в части капитала предприятия, наличие договоров на пользование инновацией/инновациями третьими лицами, а также сопряженные с этим платежи-роялти в российском и международном масштабе.

Метрика оценки инновационности самолета гражданского назначения

Категории	Показатели	Бальная оценка*					Ранг показателя	Вес показателя	Ik	Ранг категории	Вес категории
		1	2	3	4	5					
Потребительские характеристики	Комфортабельность (улучш.), %	0 < S ≤ 10	10 < S ≤ 40	40 < S ≤ 70	70 < S ≤ 100	100 < S					
	Технологичность (улучш.), %										
	Экономичность (улучш.), %										
	Топливная эффективность (улучш.), %										
	Экологическая эффективность (улучш.), %										
Технические параметры	Надежность элементов (безопасность) (улучш.), %	0 < S ≤ 10	10 < S ≤ 40	40 < S ≤ 70	70 < S ≤ 100	100 < S					
	Взаимозаменяемость элементов (улучш.), %										
	Пассажирская вместимость (улучш.), %										
	Крейсерская скорость (улучш.), %										
	Потребная длина взлетно-посадочной полосы (улучш.), %										
	Максимальная высота полёта (улучш.), %										
	Максимальная дальность полёта при полной пассажирской загрузке (улучш.), %										
	Максимальный взлётный вес (улучш.), %										
	Максимальный посадочный вес (улучш.), %										
	Максимальная коммерческая загрузка (улучш.), %										
	Длина самолёта (улучш.), %										
	Высота самолёта (улучш.), %										
	Размах крыла (улучш.), %										
	База шасси (улучш.), %										
	Колея шасси (улучш.), %										
Уровень шума (улучш.), %											
Экономический эффект	Снижение себестоимости (улучш.), %	0 < S ≤ 10	10 < S ≤ 40	40 < S ≤ 70	70 < S ≤ 100	100 < S					
	Рост объема продаж (улучш.), %										
	Рост чистой прибыли (улучш.), %										
	Рост доли рынка (улучш.), %										

Окончание таблицы

Категории	Показатели	Бальная оценка*					Ранг показателя	Вес показателя	Ik	Ранг категории	Вес категории
		1	2	3	4	5					
Интеллектуальная собственность	Наличие российского патента на инновацию	оформляется		есть		есть					
	Наличие триадического (США, ЕС, Япония) патента на инновацию		оформляется		есть	есть					
	Учёт инновации в качестве нематериального актива предприятия				учтено в НМА	учтено в капитале					
	Количество договоров на пользование инновацией (внутри РФ)	$0 < S \leq 5$	$5 < S \leq 10$	$10 < S \leq 15$	$15 < S \leq 20$	$20 < S$					
	Количество договоров на пользование инновацией (за пределами РФ)	$0 < S \leq 5$	$5 < S \leq 10$	$10 < S \leq 15$	$15 < S \leq 20$	$20 < S$					
	Объем поступивших платежей-роялти по инновации (внутри РФ), млн руб.	$0 < S \leq 0,5$	$0,5 < S \leq 5$	$5 < S \leq 10$	$10 < S \leq 15$	$15 < S$					
	Объем поступивших платежей-роялти по инновации (за пределами РФ), млн руб.	$0 < S \leq 1$	$1 < S \leq 20$	$20 < S \leq 40$	$40 < S \leq 60$	$60 < S$					
Другие характеристики	Период инновационности, лет	$0 < S \leq 0,5$	$0,5 < S \leq 1$	$1 < S \leq 1,5$	$1,5 < S \leq 2$	$2 < S$					
	Масштаб внедрения инновации	Масштаб предприятия	Региональный масштаб	Масштаб РФ	Масштаб СНГ	Мировой масштаб					

Примечание. *В столбцах «Бальной оценки» подразумевается присвоенный балла по 5-ти бальной шкале исходя из пределов, указанных для каждого показателя.

Под другими характеристиками в разрезе самолетов гражданского назначения понимаются следующие показатели:

– период инновационности, т. е. такой период времени, в течение которого инновация/инновации не устареют и/или не будут воспроизведены в том или ином виде другими предприятиями отрасли (так называемые субституты);

– масштаб внедрения инновации – под этим понимается географический масштаб рынков, на которые выходит улучшенная либо новая продукция, полученная в результате внедрения инновации.

Обобщая предлагаемую метрику, отобразим эту информацию в виде таблицы.

Предлагаемый механизм оценки инновационности продукта, в частности гражданского самолета, позволяет определить, насколько тот или иной самолет положительно инновационен.

Также одной из основных задач, решаемых путём проведения подобной оценки, является задача сопоставления схожих товаров между собой, например, самолетов российского и иностранного производства. Такой подход позволяет оценить конкурентные преимущества продукции, а также определить области, требующие совершенствования.

Расчет ПИ по каждому виду продукции позволяет определить инновационную активность предприятия в целом, что немаловажно при проведении общей оценки инновационной деятельности предприятия.

В свою очередь, такая информация может быть необходима как государственным структурам, в настоящее время активно финансирующим инновационные предприятия, так и институциональным инвесторам, работающим на венчурном рынке.

D. V. Razzhevajkin

PRODUCT INNOVATION INDEX DETERMINATION IN AEROSPACE INDUSTRY

Current economical policy assumes the modernization of all economic components, including industry through development of innovation sphere. There is a range of evaluation and methodology questions in innovation process, which have no answers. This article contains the methodology of innovation measurement in aerospace industry products through Product Innovation Index determination.

Keywords: index, innovation, product, plane.

© Разжевайкин Д. В., 2011

УДК 338.45

Л. Д. Смыкалова, Н. Т. Аврамчикова

МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕГИОНА С УЧЕТОМ ИННОВАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Рассмотрены проблемы в развитии и управлении пищевой промышленности региона. Выявлена необходимость разработки методического инструментария с учетом реализации инновационной составляющей в деятельности анализируемой отрасли. Сделаны выводы по результатам исследования.

Ключевые слова: пищевая промышленность, инновационные технологии, методический инструментарий, регион.

Сложность, многообразие и противоречивость современных социально-политических и экономических преобразований в обществе, их новизна и динамизм в условиях рыночной трансформации остро ставят вопрос о максимальном использовании возможностей научно-технического потенциала отраслей пищевых производств в восстановлении и развитии реального сектора экономики региона и придании ему инновационного характера. Основная роль при этом принадлежит науке, как генератору научно-технического развития пищевой промышленности, обеспечивающей постоянное технико-технологическое и социально-экономическое обновление отраслей пищевых производств.

Инновационная деятельность на предприятиях, особенно пищевых, требует качественно нового подхода. Данная мера должна быть не единичным актом внедрения какого-либо новшества, а стратегически ориентированной системой мероприятий по разработке, внедрению, освоению, производству, коммерциализации и анализу эффективности инноваций. Основные направления инновационной деятельности в отраслях пищевых производств: технологическое, ассортиментное (производство новых продуктов питания), маркетинговое, инновационной инфраструктуры.

По мнению ведущих ученых, к особенностям технологических инноваций на предприятиях пищевой промышленности можно отнести: разработку и вне-

дрение технологий хранения сельскохозяйственной продукции, служащей сырьем для производства продуктов питания, позволяющей увеличить срок хранения без потери качества; применение ресурсосберегающих технологий, характеризующихся максимально полезным выходом продукции и минимумом отходов, на основе современных методов обработки; совершенствование технологических процессов с целью сокращения времени производственного цикла, как минимум, без потери качества продукции; разработку и внедрение собственных упаковочных линий, отвечающих специфике производимых продуктов; совершенствование тары, упаковки и способов перевозок.

Министерством сельского хозяйства РФ в качестве главных направлений пищевой промышленности выделены:

- выявление объективных и перспективных критериев оценки качества продукции;
- создание интегрированной системы прогнозирования и оценки качества сырья и мясopодуKтов, обеспечивающей санитарно-микробиологическую безопасность продукции;
- разработка рекомендаций по совершенствованию кадровой базы пищевой промышленности;
- увеличение показателей, характеризующих уровень финансового и экономического состояния развития анализируемых предприятий.

Пищевая и перерабатывающая промышленность замыкает производственную цепочку аграрно-промышленного комплекса (АПК), поэтому важно как можно полнее сохранить и эффективнее перерабатывать сельхозпродукцию, превратив ее в конечные продукты и сырье для промышленности высокого качества и потребительского спроса, что возможно осуществить только на основе комплексного инновационного подхода. Для решения этой задачи необходимо усилить роль государства в регулировании экономических процессов, разработке и освоении научно-технических направлений и внедрении инноваций. Данная мера предельно четко прописана в нормативно-правовом документе под названием «Проект 2020». Реализация инновационной политики государства будет способствовать прогрессированию технического, технологического, организационного и экономического обновления отраслей пищевых производств и повышению их эффективности.

Основными направлениями инноваций на предприятиях пищевой промышленности являются разработка и производство экологически безопасных продуктов массового потребления; производство продуктов лечебно-профилактического назначения с учетом современных медико-биологических требований для улучшения структуры питания населения; разработка продукции для детей и особых групп населения; повышение качества продукции, прохождение сертификации и стандартизации продукции.

К инновационной деятельности пищевой деятельности также могут быть отнесены маркетинговые исследования рынков сбыта и поиск новых потребителей, поиск и создание информации о возможной кон-

курентной среде и потребительских свойствах товаров конкурирующих фирм, поиски партнеров по внедрению и финансированию инновационного проекта. В инновационную инфраструктуру включаются организации, фирмы, объединения, охватывающие весь цикл осуществления инновационной деятельности от генерации новых научно-технических идей и их отработки до выпуска и реализации наукоемкой продукции.

Концепция стратегического менеджмента в течение последних 40–50 лет находится в центре научного осмысления. Это диктуется наступившей в странах с развитой экономикой эпохой «динамического производства» или «насыщенного рынка», требующей от предприятия адаптации к рыночным условиям. Глобализация конкуренции определяет стремление предприятий во всем мире пересмотреть опыт управления в пользу методов, применяемых в этих странах.

Указанная проблема актуальна и для нашей страны. В ряде исследований отмечено, что системы управления предприятиями в России отстают в развитии, например, от американских, на 15–20 лет. Институциональное состояние российской экономики оценивается как переход от «массового производства» к «насыщенному производству». Подобное отставание экономики создает дополнительную опасность жизнедеятельности российских промышленных предприятий в условиях глобальной конкуренции.

Важность выживания предприятий пищевой промышленности в условиях международной конкуренции обусловлена значением производства собственных продуктов питания для обеспечения стратегической безопасности страны. Один из ее пороговых индикаторов – доля импортного продовольствия, которая не должна превышать 25 % от общего объема потребления продовольственных товаров в стране. В течение 10 лет этот показатель находился в пределах 30–50 %, что свидетельствует о неудовлетворительном состоянии отрасли. Данное обстоятельство создаст объективную необходимость реструктуризации систем управления российских предприятий пищевой промышленности, в первую очередь за счет внедрения методик стратегического менеджмента.

Достаточно широкая теоретическая разработанность методических основ стратегии управления не отменяет требований к их актуализации для предприятий пищевой промышленности. Практика отечественного управления требует именно адаптированных к отраслевым условиям стратегий.

Важно отметить, что вначале 1990-х гг., когда отрасль пищевой промышленности по сути вступила в период развития нанотехнологий, процесс производства, как отмечается в ряде исследований, перестал быть расширенным. Под воздействием ускоренной реорганизации и приватизации предприятий пищевой промышленности в регионе доминирующее влияние на хозяйственные процессы оказали дезинтеграционные процессы [1].

Особенности развития пищевой промышленности Красноярского края в настоящее время обусловлены:

– сложившейся конъюнктурой рынка в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции;

– неравномерным распределением прибыли в отрасли, получаемой за счет валового выпуска конечной продукции, проходящей все стадии технологической цепи производства;

– целесообразностью более эффективного взаимодействия предприятий друг с другом, связанных между собой единым производственным, технологическим и сбытовым циклами;

– недостатком профессионально подготовленных, владеющих современными инновационными технологиями работников.

В настоящее время актуальной проблемой, по мнению руководителей предприятий пищевой промышленности, является нормативно-правовая база образования агропромышленных формирований, развитая в недостаточной степени. Предприятия слабо мотивированы к тому, чтобы объединять совместные усилия для достижения конечной цели (выпуск качественной конкурентоспособной отечественной продукции).

Основу процесса разработки стратегии управления промышленным предприятием составляет переработ-

ка информации, что обуславливает необходимость создания системы информационного обеспечения. В работе предложена структурная модель такой системы (рис. 1), включающей три основные подсистемы: информационные ресурсы, информационную технологию, участников информационной системы.

Системный анализ состояния пищевой промышленности показывает, что неудовлетворительная работа отрасли обусловлена недостаточностью «входа» (сельскохозяйственного производства, финансирования, инноваций, обновления материально-технической базы) и неэффективностью «внутренней структуры» (процессов, протекающих на уровне отрасли и на уровне отдельных предприятий).

Анализ деятельности ряда отраслеобразующих предприятий пищевой промышленности свидетельствует о преимущественно экстенсивном росте и низкой устойчивости показателей работы, среднем уровне эффективности и качества управления.

В работе выявлено, что фактор управления является определяющим для «внутренней структуры» отрасли, а качество и эффективность управления зависят от состава систем управления предприятиями.

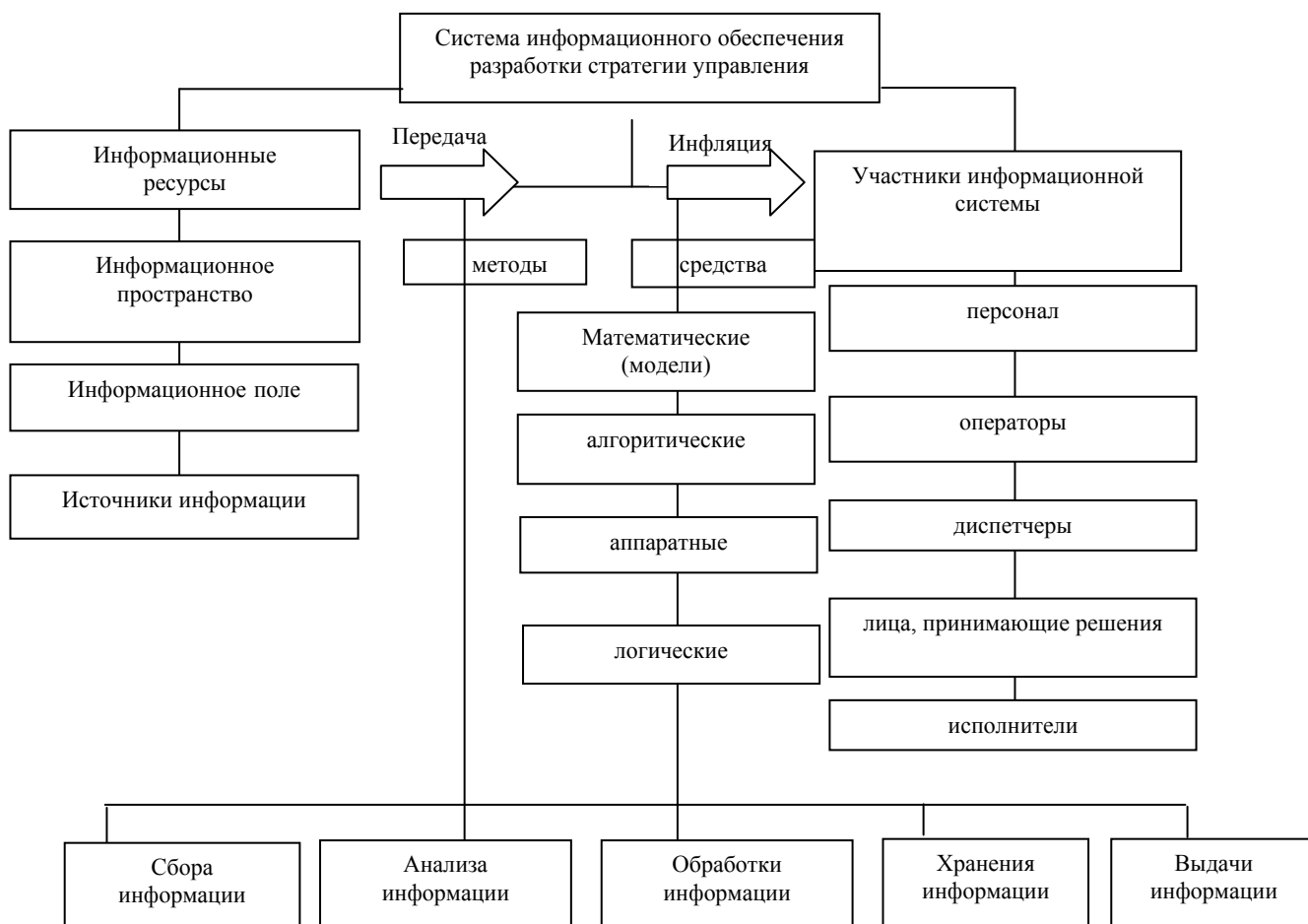


Рис. 1. Предлагаемая структурная модель системы информационного обеспечения процесса разработки стратегии управления промышленным предприятием

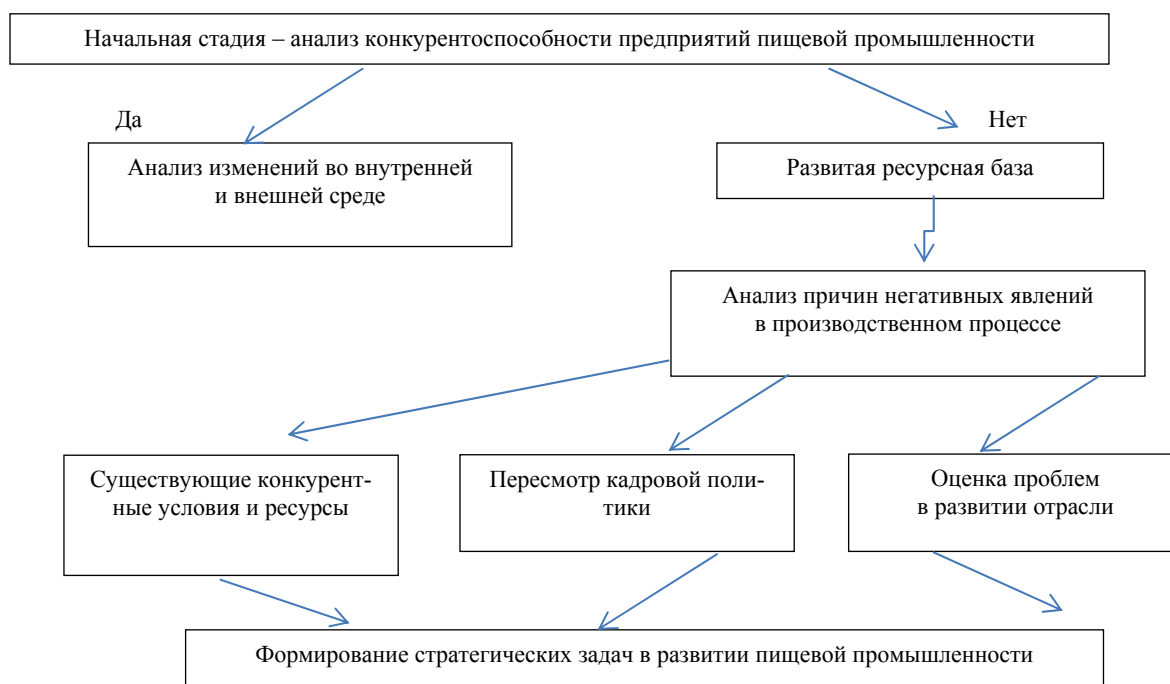


Рис. 2. Методический подход по оценке ресурсных возможностей пищевой промышленности с учетом ее инновационной направленности

Уровень управления отрасли определяется степенью развития элементов системы ее управления (структуры, техники, функций, концепции и методики управления), включающей шкалу оценки уровней управления (уровень развивающегося производства, уровень массового производства, уровень насыщающегося производства, уровень динамического производства). Отметим, что основу уровня управления составляют используемая концепция управления (на основе контроля, экстраполяции, предвидения изменений, экстренных решений) и методики управления предприятием.

От полной системы информационного обеспечения стратегического менеджмента ее отличает большая статичность используемых информационных ресурсов, что обуславливает возможность применения автоматизированной информационной технологии (АИТ) на пяти этапах разработки стратегии управления (кроме определения миссии предприятия). Применение АИТ позволит снизить трудоемкость, неопределенность и повысить точность разработки стратегии управления. Объем привлекаемых информационных ресурсов, сложность и стоимость информационной технологии, количество и состав участников информационной системы будут зависеть от размера и отраслевой принадлежности промышленного предприятия. Для практической апробации в исследовании предложен методический подход по оценке ресурсных возможностей пищевой промышленности с учетом ее инновационной направленности (рис. 2).

Результатом предложенного методического подхода являются конкретные мероприятия, использование которых в производстве в нынешних условиях хозяйствования служит объективной необходимостью для обеспечения доступа фермеров и сельхозпроизво-

дителей к рынкам сбыта, привязанных к конкретной сырьевой базе (поиск эффективных партнеров, проявляющих интерес к переработке первичного сырья); повышения качества поставляемого на рынок продукта, сокращения числа простоев оборудования, снижения (в %) импортозамещения в пищевой промышленности за счет сотрудничества с местными поставщиками и предприятиями, технического совершенствования производства, создания новых рабочих мест (повышения квалификации рабочих); развития сопутствующих видов производств (ориентации на выпуск качественных продуктов питания для детей младшего возраста, разработки гибкой ценовой политики, предотвращения ценового сговора, эффективных систем коммуникаций производителей и потребителей); повсеместного внедрения технологии бережливого производства и других организационных мероприятий, нацеленных на совершенствование отрасли пищевой промышленности.

Мы считаем, что данные мероприятия носят рекомендательный характер, следовательно, могут быть скорректированы каждым предприятием с учетом специфики своей деятельности. Использование прогрессивных инструментов в деятельности предприятий пищевой промышленности предполагает обязательный учет всех видов деятельности (как профильных, так и дополняющих, второстепенных), всесторонний анализ состояния внешней и внутренней среды, сопровождаемый составлением стратегического плана развития, тщательным мониторингом и оценкой полученных результатов. Как отмечают ученые, успех пищевой промышленности в XXI в. во многом зависит от того, насколько предприятия подготовлены к осуществлению деятельности, основанной на использовании передовых инновационных технологий.

Эффективность предприятий пищевой промышленности во многом зависит от успешного решения комплекса задач:

- приобретение дополнительных преимуществ в сбыте и снабжении;
- диверсификация, возможность увеличения прибыли, расширение сегментов рынка;
- стремление усилить рыночную мощь и прочие организационные мероприятия.

В представленной схеме особое внимание было уделено конкретным мероприятиям, призванным по-

высить эффективность производственной и сбытовой деятельности в результате ориентации пищевой промышленности на привлечение квалифицированных кадров, внедрение в производственный процесс инструментов формирования образовательной подсистемы.

Библиографическая ссылка

1. Бусыгин П. А. Эффективный менеджмент. М. : Финпресс, 2000.

L. D. Smykalova, N. T. Avramchikova

METHODICAL TOOLING IN MANAGEMENT OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

The main problems of food industry development are considered. The article reveals necessity of development of the methodical approach, with the account of innovative orientation of the industry. The main conclusions of the research are stated.

Keywords: food industry, innovatiive technologies, methodical tooling, region.

© Смыкалова Л. Д., Аврамчикова Н. Т., 2011

УДК 338.45.003.3

О. Н. Харченко, А. А. Туровец

ДОПУЩЕНИЯ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА В УСЛОВИЯХ МСФО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОТЧЕТНОСТИ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Сравниваются правила-допущения, предъявляемые к бухгалтерскому учету в соответствии с российским законодательством, и основополагающие допущения, определенные Международными стандартами финансовой отчетности (МСФО). Авторы поднимают проблему отступления малыми предприятиями от правил-допущений и необходимость формирования профессионального бухгалтерского суждения в вопросах ведения МСФО-ориентированного бухгалтерского учета на малых предприятиях.

Ключевые слова: принципы бухгалтерского учета, правила бухгалтерского учета, правила-допущения, основополагающие допущения, МСФО, малые предприятия.

В учетном процессе малых предприятий важную роль играют принципы бухгалтерского учета, которые представляют собой «универсальные положения, применимые для решения практических задач. Они носят общий характер и являются основой построения концепции бухгалтерского учета» [1, с. 9].

В российской учетной практике отсутствуют нормативно закреплённые принципы, вместо них используется дефиниция «правила бухгалтерского учета», которая включает в себя понятия «допущения» и «требования». Допущение означает предположение, а требование – норму, которой необходимо соответствовать. Поэтому предлагается под принципами бухгалтерского учета понимать правила бухгалтерского учета в разрезе следующих направлений (табл. 1).

В отличие от исходных положений естественных наук – физики, химии, математики – принципы бухгалтерского учета разрабатываются людьми и могут не действовать при изменении экономической ситуации [2, с. 94]. К данному утверждению, по мнению

авторов, необходимо добавить «...а также в специфических условиях функционирования отдельных хозяйствующих субъектов». Так, например, нормативно-правовое регулирование бухгалтерского учета на малых предприятиях и особенности их финансово-хозяйственной деятельности не обеспечивают в полной мере реализацию принципов бухгалтерского учета, в частности это касается правил-допущений.

Авторы поддерживают мнение М. И. Кутера и считают, что принципы бухгалтерского учета необходимо рассматривать в зависимости от преобразований, происходящих в бухгалтерском учете, которые напрямую зависят от изменения экономической ситуации.

В настоящее время процесс развития системы бухгалтерского учета в России, в том числе и на малых предприятиях, тесно связан с МСФО как наиболее удобным и общепризнанным средством «общения» между представителями деловых кругов мирового сообщества. При этом, в первую очередь, регулируется

не порядок ведения учета, а требования к отчетности. В отличие от российских положений по бухгалтерскому учету, МСФО базируются не на правилах, а на основе принципов.

Учитывая вышесказанное, актуальным является рассмотрение допущений бухгалтерского учета в условиях МСФО-ориентированной отчетности малых предприятий, поскольку правила-допущения, предусмотренные российским бухгалтерским учетом, в некоторых аспектах отличаются от основополагающих допущений, предусмотренных МСФО (табл. 2).

Сравнение правил-допущений, предъявляемых к бухгалтерскому учету в соответствии с российским законодательством, и основополагающих допущений, определенных МСФО, позволяет сделать следующие выводы относительно применения правил-допущений бухгалтерского учета малыми предприятиями.

Во-первых, строгое следование допущению непрерывности деятельности при составлении бухгалтерской отчетности малыми предприятиями позволяет удовлетворить интересы всех групп пользователей

без исключения. Это особенно важно, поскольку приказ Минфина России «О формах бухгалтерской отчетности организаций» № 66н от 02.07.10 г. предполагает упрощенную систему отчетности для малых предприятий, согласно которой в бухгалтерский баланс и отчет о прибылях и убытках включаются показатели только по группам статей (без детализации показателей по статьям), а в приложениях к бухгалтерскому балансу и отчету о прибылях и убытках приводится только наиболее важная информация, без знания которой невозможна оценка финансового положения организации или финансовых результатов ее деятельности. В этой связи необходимо отметить, что малые предприятия в случае прекращения своей деятельности должны руководствоваться Положением по бухгалтерскому учету «Информация по прекращаемой деятельности» ПБУ 16/02, утвержденным приказом Минфина России № 66н от 02.07.02 г., в общеустановленном порядке, что является достаточно проблематичным при формировании отчетности по упрощенной системе.

Таблица 1

Российские правила бухгалтерского учета

Правила бухгалтерского учета в России	Перечень	Общая характеристика
Базовые (основные) правила	<p>Обязательность двойной записи хозяйственных операций на счетах рабочего плана счетов, который составляется на основе Плана счетов, утверждаемого Минфином России.</p> <p>Оценка объектов учета в денежном выражении.</p> <p>Учет объектов учета в рублях и на русском языке.</p> <p>Отражение в бухгалтерском учете текущих затрат на производство продукции, выполнение работ и оказание услуг отдельно от затрат, связанных с капитальными и финансовыми вложениями.</p> <p>Обязательность документирования хозяйственных операций (первичные документы должны быть составлены в момент совершения хозяйственных операций или сразу по окончании операции, должны содержать обязательные реквизиты и составляться по типовым формам или формам, утверждаемым руководителем организации).</p> <p>Использование учетных регистров для систематизации и накопления информации, содержащейся в учетных документах.</p> <p>Обязательность проведения инвентаризации имущества и обязательств.</p> <p>Формирование для ведения бухгалтерского учета в организации учетной политики в соответствии с установленными допущениями и требованиями</p>	<p>Правила ведения российского учета, с одной стороны, базируются на принятых в нашей учетной теории основных методологических приемах и способах организации и формирования учетной информационной системы, с другой – ориентируются на общепризнанные принципы и международные стандарты учета [2, с. 100]</p>
Правила-допущения	<p>Допущение имущественной обособленности.</p> <p>Допущение непрерывности деятельности.</p> <p>Допущение последовательности применения учетной политики.</p> <p>Допущение временной определенности фактов хозяйственной деятельности</p>	<p>Правила-допущения бухгалтерского учета предполагают определенные условия, создаваемые хозяйствующим субъектом при ведении бухгалтерского учета (приводятся со словом «предполагается»)</p>
Правила-требования	<p>Требование полноты.</p> <p>Требование своевременности.</p> <p>Требование осмотрительности.</p> <p>Требование приоритета содержания перед формой.</p> <p>Требование непротиворечивости.</p> <p>Требование рациональности</p>	<p>Правила-требования бухгалтерского учета определяют обязательное соблюдение принятых правил организации и ведения учета</p>

Правила-допущения, предъявляемые к бухгалтерскому учету в соответствии с российским законодательством, и основополагающие допущения, определенные МСФО

Наименование правила российского бухгалтерского учета	Содержание допущения в соответствии с нормативными документами, регулирующими бухгалтерский учет в Российской Федерации	Содержание принципа в соответствии с МСФО	Наименование принципа по МСФО
Правила-допущения		Основополагающие допущения	
Допущение имущественной обособленности	Активы и обязательства организации существуют обособленно от активов и обязательств собственников этой организации и обязательств других организаций	–	–
Допущение непрерывности деятельности	Организация будет продолжать свою деятельность в обозримом будущем и у нее отсутствует намерение и необходимость ликвидации или существенного сокращения деятельности и, следовательно, обязательства будут погашаться в установленном порядке	Организация будет продолжать свою деятельность в обозримом будущем и у нее отсутствует намерение и необходимость ликвидации или существенного сокращения деятельности и, следовательно, обязательства будут погашаться в установленном порядке; если такое намерение или необходимость существует, финансовая отчетность должна составляться на другой основе, и принимаемая основа должна раскрываться	Допущение непрерывности деятельности
Допущение последовательности применения учетной политики	Принятая организацией учетная политика применяется последовательно от одного отчетного периода к другому	–	–
Допущение временной определенности фактов хозяйственной деятельности	Факты хозяйственной деятельности относятся к тому отчетному периоду, в котором они имели место, независимо от фактического времени поступления или выплаты денежных средств, связанных с этими фактами	Результаты операций и прочих событий признаются по факту их совершения (а не тогда, когда денежные средства или их эквиваленты получены или выплачены). Они отражаются в учетных записях и включаются в финансовую отчетность периодов, к которым относятся. Финансовая отчетность, составленная по методу начисления, информирует пользователей не только о прошлых операциях, связанных с выплатой или получением денежных средств, но также и об обязательствах заплатить деньги в будущем, и о ресурсах, представляющих денежные средства, которые будут получены в будущем	Метод начисления

Во-вторых, допущение последовательности применения учетной политики для малых предприятий может не иметь практического применения. Например, если малое предприятие находится на упрощенной системе налогообложения и не ведет бухгалтерский учет за исключением учета основных средств и нематериальных активов, что предусмотрено Федеральным законом «О бухгалтерском учете» № 129-ФЗ от 21.11.96 г. Однако, необходимо помнить, что в случае утраты права на применение упрощенной системы налогообложения осуществляется возврат на иной режим налогообложения, предусматривающий обязательное ведение бухгалтерского учета. Таким образом, возникает необходимость в восстановлении бухгалтерского учета, что является затруднительным, в случае отступления от допущения последовательности применения учетной политики.

В-третьих, для малых предприятий допущение временной определенности фактов хозяйственной деятельности может быть неприменимо, если они руководствуются приказом Минфина России «О Типовых рекомендациях по организации бухгалтерского учета для субъектов малого предпринимательства» № 64н от 21.12.98 г. (далее – Типовые рекомендации), который допускает отказ от соблюдения допущения временной определенности фактов хозяйственной деятельности и использование кассового метода учета (кассового метода учета доходов и расходов). Так, например, при применении малыми предприятиями кассового метода в случае неполной оплаты доходов и расходов, их финансовые результаты будут отличаться от аналогичных показателей, сформированных исходя из допущения временной определенности фактов хозяйственной деятельности. Кассо-

вый метод имеет важное преимущество по сравнению с методом начисления: позволяет увидеть фактически полученную величину доходов и расходов малого предприятия, что является актуальным с точки зрения его платежеспособности.

Необходимо отметить, что Типовые рекомендации не соответствуют Положению по ведению бухгалтерского учета и бухгалтерской отчетности в Российской Федерации, утвержденному приказом Минфина России № 34н от 29.07.98 г., в части допущения возможности применения субъектами малого предпринимательства кассового метода учета доходов и расходов. При этом Положение по бухгалтерскому учету «Учетная политика организации» ПБУ 1/08, утвержденное приказом Минфина России № 106н от 06.10.08 г., Положение по бухгалтерскому учету «Расходы организации» ПБУ 10/99, утвержденное приказом Минфина России № 33н от 06.05.99 г., допускают использование кассового метода учета доходов и расходов в разрешенных случаях, например, по мнению авторов, для субъектов малого предпринимательства.

Таким образом, можно сделать вывод, что указанные нормативно-правовые документы законодательно не закрепляют возможность применения кассового метода учета (кассового метода учета доходов и расходов).

Однако, Федеральный закон «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» № 209-ФЗ от 24.07.07 г. (далее – Закон № 209-ФЗ) в целях реализации государственной политики в области развития малого предпринимательства в Российской Федерации предусматривает в числе прочих упрощенную систему ведения бухгалтерской отчетности для малых предприятий, осуществляющих отдельные виды деятельности. В связи с этим можно предположить, что Типовые рекомендации на сегодняшний день являются единственным документом, предусматривающим упрощения учетной процедуры (в том числе возможность применения кассового метода учета), несмотря на существующие в нем противоречия действующему законодательству, которые, по мнению авторов, допустимо рассматривать как специальные льготы по ведению бухгалтерского учета на малых предприятиях, существующих во исполнение Закона № 209-ФЗ.

Актуальными в условиях реформирования российской системы бухгалтерского учета и приведения ее в соответствие с МСФО, а также при наличии зарубежных партнеров и необходимости составления отчетности по МСФО становятся опубликованные в июле 2009 г. Советом по Международным стандартам финансовой отчетности Международные стандарты финансовой отчетности для малых и средних предприятий (International Financial Reporting Standard for Small and Medium-sized Entities – IFRS for SMEs). В связи с чем, в бухгалтерском учете малых предприятий, использующих кассовый метод, могут возникнуть трудности с пересчетом показателей, поскольку в международной практике основным принципом признания доходов и расходов в бухгалтерском учете является метод начисления.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что вопросы применения допущений, с одной стороны, регулируемые российским законодательством, и, с другой стороны, предусмотренные МСФО, нельзя считать соответствующими друг другу. При этом существующие в российском законодательстве варианты подходы к организации и ведению бухгалтерского учета на малых предприятиях, позволяющие им отступать от правил бухгалтерского учета, приводят к ущемлению интересов заинтересованных пользователей бухгалтерской отчетности, поскольку она становится менее достоверной и полезной. Субъекты малого предпринимательства не могут находиться в стороне от реформационных процессов системы российского бухгалтерского учета, главным ориентиром которых являются МСФО, поэтому возрастает необходимость в формировании профессионального бухгалтерского суждения независимо от размерной градации хозяйствующих субъектов.

В этой связи очевидна актуальность разработки алгоритма учетного процесса, предусматривающего эффективную упрощенную систему бухгалтерского учета для малых предприятий при сохранении аналитической ценности отчетных данных.

Библиографические ссылки

1. Финансовый учет / под ред. В. Г. Гетьмана. М. : Финансы и статистика, 2004.
2. Куттер М. И. Теория бухгалтерского учета. М. : Финансы и статистика, 2004.

O. N. Kharchenko, A. A. Turovets

ADMISSIONS IN ACCOUNTING IN IFRS-BASED ACCOUNTABILITY OF SMALL ENTERPRISES

In this article the authors compare rules and admissions to be observed in the accounting in accordance to the Russian legislation, and the fundamental admissions as determined by IFRS. The authors raise a problem of deviation from the rules and admissions done by small enterprises. The authors also consider how necessary it is to form professional accounting judgment in the sphere of IFRS-based accounting in small enterprises.

Keywords: accounting principles, rules of accounting, rules and admissions, fundamental admissions, IFRS, small enterprises.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдулхаков Алексей Аликович – аспирант кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – радионавигация. E-mail: aabdulhakov@sfu-kras.ru.

Аврамчикова Надежда Тимофеевна – доктор экономических наук, профессор кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Саратовский экономический институт в 1971 г. Область научных интересов – региональная экономика, статистика. E-mail: avramchikova@sibsau.ru.

Алдашев Иван Владимирович – аспирант кафедры физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – исследование оптических спектров. E-mail: ald@sibsau.ru.

Алешечкин Андрей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1994 г. Область научных интересов – определение угловой ориентации по сигналам спутниковых радионавигационных систем, алгоритмы и методы определения координат и элементов движения объектов по сигналам многофункциональных морских радионавигационных систем, структура сигналов и алгоритмы разрешения неоднозначности в фазовых радионавигационных системах. E-mail: Aleshechkin.Andrey@yandex.ru.

Аникина Валентина Ильинична – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1970 г. Область научных интересов – материаловедение и кристаллография, дефекты решетки. Т. 8(391)213-32-86.

Антипин Максим Иванович – кандидат технических наук, преподаватель Сибирского филиала Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. Окончил Иркутский государственный технический университет в 2006 г. Область научных интересов – численные методы анализа, проектирование перспективных летательных аппаратов. E-mail: radiomax1983@yandex.ru.

Антипина Любовь Юрьевна – младший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет

в 2007 г. Область научных интересов – биохимическая физика, квантово-химические расчеты. E-mail: antipinalyu@gmail.com.

Аплеснин Сергей Степанович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, физика магнитных явлений. E-mail: aplesnin@sibsau.ru.

Батукова Луиза Рихардовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Томский государственный университет в 1991 г. Область научных интересов – корпоративное развитие, финансовые рынки. E-mail: malilu@yandex.ru.

Бахмарева Наталья Владимировна – старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – реорганизация систем управления, процессный подход к управлению, управление качеством, экономический анализ деятельности предприятия, методика преподавания экономических дисциплин. E-mail: bahmareva@sidsau.ru.

Безбородов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой топливобеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Московское общеобразовательное командное училище в 1977 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labsm@mail.ru.

Богданова Татьяна Александровна – начальник лаборатории кузнечно-прессового цеха ООО «Красноярский металлургический завод». Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1986 г. Область научных интересов – материаловедение и термическая обработка цветных и черных сплавов. E-mail: btal@kramz.rusal.ru.

Бойко Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1990 г. Область научных интересов – управление основными производственными фондами машиностроительных предприятий. E-mail: boiko@sibsau.ru.

Вавилов Денис Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Краевого государственного автономного учреждения «Красно-

ярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – вычислительное моделирование, механика разрушения, приводные системы, зубчатые передачи. E-mail: exseptme@yandex.ru.

Валиханов Марат Музагитович – старший преподаватель кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – радионавигация. E-mail: marat_valihanjv@mail.ru.

Валь Петр Владимирович – аспирант кафедры электротехнических комплексов и систем политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета в 2008 г. Область научных интересов – прогнозирование электропотребления. E-mail: vallpv@yandex.ru.

Вергазов Матвей Юрьевич – студент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, технология разработки программных средств. Т. 8(391)262-18-47.

Вострова Екатерина Игоревна – аспирант кафедры экономики и организации отраслей химического комплекса Сибирского государственного технологического университета. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 2006 г. Область научных интересов – рыночные инструменты в системе профессионального образования. E-mail: scorpisha@mail.ru.

Гарифулин Вадим Фанисович – инженер НИИ «Радиотехника» Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – радионавигация. E-mail: vadimgar@mail.ru.

Готовко Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1983 г. Область научных интересов – материаловедение и прочность в сварке. E-mail: gefest_61@mail.ru.

Григорьев Александр Николаевич – студент кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Область научных интересов – сварка на малых токах плавящимся и неплавящимся электродом. Т. 8(391)243-55-61.

Гусаров Андрей Анатольевич – студент кафедры космических средств и технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – обработка данных дистанционного зондирования Земли. Т. 8(391)291-92-14.

Двирный Гурий Валерьевич – инженер-испытатель отдела механических испытаний отраслевого центра крупногабаритных механических систем ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – испытание космических аппаратов, их систем и агрегатов. Т. 8-913-535-85-72.

Демакова Евгения Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский коммерческий институт в 1994 г. Область научных интересов – оценка качества и безопасности непродовольственных товаров. E-mail: evdemakova@ya.ru.

Елисеев Дмитрий Борисович – аспирант кафедры проектирования и экспериментальной механики машин политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – машиностроение. E-mail: dimasel@inbox.ru.

Ереско Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных систем зданий и сооружений инженерно-строительного института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – инженерные и технические науки. E-mail: eral@mail.ru.

Ереско Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, член-корреспондент Академии наук высшей школы. Окончил Красноярский политехнический институт в 1975 г. Область научных интересов – машиноведение, системы приводов, эластогидродинамические задачи обеспечения герметичности гидропневмовакуумных систем, математическое моделирование и системный анализ. E-mail: eresko07@mail.ru.

Ермошкин Юрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Московский авиационный институт в 1977 г. Область научных интересов – применение двигательных подсистем на космических аппаратах. E-mail: erm@iss-reshetnev.ru.

Еромасов Роман Георгиевич – старший преподаватель кафедры композиционных материалов и физикохимии металлургических процессов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 2002 г. Область научных интересов – керамические материалы, утилизация отходов промышленности в строительной керамике. E-mail: kmp198@inbox.ru.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, профессор, декан инженерно-экономического факультета Сибирского государст-

венного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Алтайский политехнический институт имени И. И. Ползунова в 1985 г., аспирантуру Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина в 1989 г. Область научных интересов – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Ерыгина Лилия Викторовна – доктор экономических наук, профессор, декан факультета заочного и дополнительного образования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1985 г. Область научных интересов – планирование и контроль, система контроллинга деятельности предприятий. E-mail: erigina@sibsau.ru.

Завьялова Ольга Игоревна – аспирант кафедры информатики института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет в 2002 г. Область научных интересов – системный анализ, мультиверсионное программное обеспечение, многоатрибутивные методы принятия решений. E-mail: zav.olga888@mail.ru.

Зеленков Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО «Новые материалы и технологии» Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – информационные технологии. E-mail: zelenkow@pambler.ru.

Иптышев Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, исполнительный директор Красноярского государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности». Окончил Хакасский технический институт – филиал Красноярского государственного технического университета в 1998 г. Область научных интересов – приводные системы, зубчатые передачи, приводы специального назначения, системный анализ, инновационный менеджмент. E-mail: i@sf-kras.ru.

Ищенко Антон Валерьевич – аспирант кафедры вычислительных и информационных технологий института математики Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – вычислительная математика. E-mail: anton.ischenko@gmail.com.

Казанцев Андрей Александрович – младший научный сотрудник кафедры основ конструирования машин Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский федеральный университет в 2010 г. Область научных интересов – совершенствование конструкций рычажных механизмов, программирование. E-mail: Kazancev-AA@mail.ru.

Казьмин Богдан Николаевич – кандидат технических наук, старший преподаватель Красноярского политехнического техникума. Окончил Красноярский

политехнический институт в 1969 г. Область научных интересов – электричество, разработка электротехнических и силовых устройств. E-mail: kkdpr_admin@mail.ru.

Кайзер Юрий Филиппович – кандидат технических наук, доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный аграрный университет в 1996 г. Область научных интересов – исследование свойств авиационных масел и гидравлических жидкостей. E-mail: kaiser170174@mail.ru.

Какоткин Вадим Викторович – аспирант кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – радионавигация. E-mail: vadim_kakotkin@mail.ru.

Капулин Денис Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2001 г. Область научных интересов – электро-техника, управление технологическими процессами, космические системы, системы автоматизированного проектирования. E-mail: kapulin@gmail.com.

Карасева Маргарита Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1990 г., Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 1999 г. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей. Т. 8-902-992-64-12.

Кацура Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Иркутский политехнический институт в 1982 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация, ремонт, надежность и прочность летательных аппаратов. E-mail: katsu60@mail.ru.

Кашкин Валентин Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Томский государственный университет в 1960 г. Область научных интересов – обработка и анализ изображений и сигналов, статистическая радиофизика, озоновый слой, случайные поля, спутниковые методы. E-mail: rtcvbk@rambler.ru.

Киреев Игорь Валерьевич – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделе-

ния Российской академии наук. Окончил Московский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – математическое моделирование, механика. E-mail: kiv@icm.krasn.ru.

Кислицкий Михаил Иванович – кандидат технических наук, начальник отдела ФГУП «КБ «Арсенал». Окончил Ленинградский механический институт в 1972 г. Область научных интересов – исследование и освоение космоса, космическая техника. E-mail: kbarsenal@peterlink.ru.

Ковальский Болеслав Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1970 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labism@mail.ru.

Ковальский Сергей Болеславович – аспирант кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский институт космической техники в 1992 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labism@mail.ru.

Козлова Юлия Борисовна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационно-вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1993 г. Область научных интересов – педагогика, сетевые технологии, информационные процессы. E-mail: ivt_yulya@sibsau.ru.

Кокорин Владимир Иванович – кандидат технических наук, профессор военной кафедры института военного обучения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1975 г. Область научных интересов – наземные и спутниковые радионавигационные системы.

Колегова Мария Михайловна – ведущий специалист министерства образования и науки Красноярского края. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – информационные технологии. E-mail: maria.kolegova@mail.ru.

Копейкин Александр Юрьевич – начальник центральной заводской лаборатории ООО «Красноярский металлургический завод». Окончил Красноярский государственный университет в 1981 г. Область научных интересов – металловедение и термическая обработка цветных и черных сплавов. Т. 8(391)224-96-10.

Кошур Владимир Дмитриевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры вычислительной техники института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Новосибирский государственный университет в 1971 г. Область научных интересов – компьютерное моделирование задач механики сплошных сред и интеллектуальных материалов, адаптивное управление и оптимизация систем и процессов, численные методы, параллельные и мягкие

вычисления, искусственные нейронные сети. E-mail: VKoshur@sfu-kras.ru.

Кравец Александр Александрович – магистрант кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – автоматизация бизнес-процессов предприятий, системы контроля деятельности предприятий. E-mail: kravec2001@mail.ru.

Крат Светлана Александровна – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники в 1991 г. Область научных интересов – моделирование светоптических схем, системы управления. E-mail: kratstv@iss-reshetnev.ru.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М. Ф. Решетнева. Окончил Омский машиностроительный институт в 1955 г. Область научных интересов – экономика научных исследований, нанотехнологии. E-mail: genry@icm.krasn.ru.

Крылов Александр Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1993 г. Область научных интересов – спектроскопия комбинационного рассеяния света, фазовые переходы. E-mail: Shusy@iph.krasn.ru.

Кузьменко Алена Владимировна – аспирант кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – машиноведение, трение, износ и смазка. E-mail: av_kuzmenko@list.ru.

Кукарцев Владислав Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных экономических систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – автоматизация управления, системный анализ. E-mail: vlad_2000@mail.ru.

Лавренов Владимир Алексеевич – доцент кафедры эксплуатации авиационной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Киевскую военную авиационную академию в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники. Т. 8(391)233-11-51.

Лазовский Эдуард Иннокентьевич – инженер электротехнического отдела ОАО «СибцветметНИИ-проект». Окончил Красноярский государственный

технический университет в 1995 г. Область научных интересов – электромеханика. E-mail: lazovski@bk.ru.

Лапко Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Фрунзенский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – непараметрическая статистика, распознавание образов, моделирование и оптимизация систем при неполной информации. E-mail: lapko@icm.krasn.ru.

Лапко Василий Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космических средств и технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1996 г. Область научных интересов – непараметрическая статистика, моделирование систем, непараметрические коллективы решающих правил, распознавание образов. E-mail: lapko@icm.krasn.ru.

Лобанова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса Сибирского государственного технологического университета, действующий член Академии социального образования. Окончила Сибирский технологический институт в 1981 г. Область научных интересов – взаимодействие рынков услуг профессионального образования и труда. E-mail: mahapi@mail.ru.

Лубнин Михаил Алексеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Челябинский политехнический институт в 1959 г. Область научных интересов – производство летательных аппаратов. Т. 8(391)264-62-82.

Лукин Феликс Александрович – студент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, технология разработки программных средств. Т. 8(391)262-18-47.

Лысенко Евгений Александрович – доцент кафедры космических аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М. Ф. Решетнева, заместитель начальника отдела механических испытаний ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1976 г. Область научных интересов – статические и динамические испытания конструкции, экспериментальная отработка прочности. E-mail: vibro@iss-reshetnev.ru.

Лысенко Константин Евгеньевич – инженер по механическим испытаниям ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решет-

нева» в 2008 г. Область научных интересов – статические и динамические испытания конструкции. E-mail: atomgrad37@mail.ru.

Макаренко Григорий Константинович – аспирант кафедры радиотехники института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2006 г. Область научных интересов – спутниковые радионавигационные системы, электроэнергетика. E-mail: Mgkon@gmail.com.

Масюк Максим Анатольевич – аспирант кафедры системотехники Сибирского государственного технологического университета. Окончил Томский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – информационные технологии. E-mail: masyuk@legis.krsn.ru.

Мальшева Наталья Николаевна – старший преподаватель кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – машиноведение, трение, износ и смазка. E-mail: nataly.nm@mail.ru.

Мальцева Екатерина Геннадьевна – аспирант кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: rina_986@mail.ru.

Мейстер Андрей Робертович – инженер кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – сварка на малых токах плавящимся и неплавящимся электродом. Т. 8(391)243-55-61.

Мейстер Роберт Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1966 г. Область научных интересов – сварка на малых токах плавящимся и неплавящимся электродом. Т. 8(391)243-55-61.

Меркулова Галина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения и термической обработки института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1972 г. Область научных интересов – металловедение и термическая обработка цветных сплавов. Т. 8-950-401-41-90.

Миринова Валентина Григорьевна – аспирант кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности электронно-вычислительных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Окончила Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники в 2010 г. Область научных интере-

сов – информационная безопасность, защита персональных данных. E-mail: mvg@security.tomsk.ru.

Михалев Герман Семенович – доктор экономических наук, профессор кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1972 г. Область научных интересов – методология исследований и разработка хозяйственных систем. Т. 8-903-920-10-56.

Мясников Владимир Матвеевич – кандидат технических наук, ведущий метеоролог разработки и внедрения метеорологических прогнозов Красноярского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями Среднесибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Окончил Красноярский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – физика атмосферы, метеорология, математические методы в метеорологии. E-mail: bur@meteo.krasnoyarsk.ru.

Нестеров Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1987 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела. E-mail: misternester@gmail.com.

Никифорова Элеонора Михайловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры композиционных материалов и физикохимии металлургических процессов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский политехнический институт в 1972 г. Область научных интересов – керамические материалы, утилизация отходов промышленности в строительной керамике. E-mail: nem1950@inbox.ru.

Николаев Владимир Николаевич – кандидат технических наук, начальник сектора Сибирского научно-исследовательского института авиации имени С. А. Чаплыгина. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – математическое моделирование теплового состояния отсеков и систем самолетов при проектировании и летных испытаниях, математическое моделирование электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования самолета. E-mail: nika50@mail.ru.

Овчинников Сергей Геннадьевич – доктор физико-математических наук, заместитель директора Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в

1972 г. Область научных интересов – теория высокотемпературной сверхпроводимости, электронные и магнитные свойства переходных материалов, структура и свойства магнитных наноматериалов, биофизика. E-mail: sgo@iph.krasn.ru.

Окладникова Екатерина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 1998 г. Область научных интересов – надежность и безопасность технических систем, техногенные риски. E-mail: ketrin_nii@mail.ru.

Орелкина Тамара Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1969 г. Область научных интересов – металловедение и термическая обработка металлов. Т. 8-908-222-65-74.

Перебоева Августа Алексеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1969 г. Область научных интересов – перспективные материалы и технологии в металлургической и машиностроительных отраслях.

Пермяков Михаил Юрьевич – инженер отдела анализа прочности конструкции, нагрузок и динамики разрываемых механических устройств ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – методы анализа напряженно-деформированного состояния и экспериментальной отработки конструкций космических аппаратов. Т. 8(391-97)6-45-55.

Рагозина Марина Алексеевна – старший преподаватель кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1988 г. Область научных интересов – инновационный менеджмент, организация производства на предприятиях отрасли. E-mail: ragfil@mail.ru.

Разжевайкин Дмитрий Валерьевич – аспирант кафедры экономики и инвестиций Московского авиационного института (государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт (государственный технический университет) в 2008 г. Область научных интересов – экономика, инновации. E-mail: lucky_shadow@mail.ru.

Решетникова Светлана Николаевна – кандидат технических наук, заведующий методическим каби-

нетом при диссертационных советах Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1980 г. Область научных интересов – повышение физико-механических характеристик сплавов при производстве деталей силовых установок. E-mail: rsn@sibsau.ru.

Рогалев Алексей Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1977 г. Область научных интересов – надежные численные методы решения однородных дифференциальных уравнений, методы оценки множеств достижимости, задачи практической устойчивости. E-mail: rogalyov@icm.krasn.ru.

Романов Анатолий Геннадьевич – начальник отдела антенно-фидерных устройств ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Казанский авиационный институт в 1989 г. Область научных интересов – технология создания антенно-фидерных устройств. Т. 8(391-77)6-45-70.

Романова Оксана Борисовна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 1999 г. Область научных интересов – полупроводники, магнитосопротивление, переход «металл-диэлектрик», электросопротивление. E-mail: rob@mail.ru.

Рублева Татьяна Васильевна – старший преподаватель кафедры теплофизики института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Окончила Уральский государственный университет в 1984 г. Область научных интересов – общая циркуляция атмосферы, озоновый слой, обработка и анализ изображений, дистанционное зондирование Земли из космоса. E-mail: tvrubleva@ksc.krasn.ru.

Рябин Анатолий Алексеевич – старший преподаватель кафедры эксплуатации авиационной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Рижский институт инженеров гражданской авиации в 1983 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники. Т. 8(391)233-11-51.

Селиверстов Сергей Андреевич – студент кафедры физики конденсированного вещества института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли из космоса, озоновый слой. E-mail: tvrubleva@ksc.krasn.ru.

Семенова Лилия Александровна – старший преподаватель кафедры летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического универси-

тета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-вуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – динамика летательных аппаратов, проектирование и испытания летательных аппаратов. Т. 8(391)262-95-62.

Сидорова Галина Александровна – магистрант кафедры информатики института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – технологии обработки информации в распределенных системах, технологии адаптивного обучения. E-mail: harp_zloy@mail.ru.

Смирнов Александр Павлович – аспирант кафедры проектирования и экспериментальной механики машин политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2009 г. Область научных интересов – вычислительное моделирование, разработка программного обеспечения, системы приводов, зубчатые передачи. E-mail: mail_eg@mail.ru.

Смыкалова Любовь Дмитриевна – старший преподаватель кафедры государственного и муниципального управления института экономики и финансов агропромышленного комплекса Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Красноярский сельскохозяйственный институт в 1990 г. Область научных интересов – экономика, региональная экономика. E-mail: Smykalowa@yandex.ru.

Струков Иван Иванович – студент кафедры космических средств и технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – обработка данных дистанционного зондирования Земли. Т. 8(391)291-92-14.

Ступина Алена Александровна – доктор технических наук, доцент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1995 г. Область научных интересов – системный анализ. E-mail: saa5@yandex.ru.

Сугак Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор, Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ленинградский технологический институт имени Ленсовета в 1978 г. Область научных интересов – надежность и безопасность технических систем, инженерная экология, процессы и аппараты химической технологии, системный анализ. E-mail: evs2@mail.ru.

Сухинин Анатолий Иванович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории леса Института леса и древесины имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Томский государственный университет в 1967 г. Область научных интересов – теплофизика, газовая динамика, химическая кинетика и горение, дистанционные методы зондирования Земли из космоса. E-mail: boss@ksc.krasn.ru.

Таскин Владимир Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и термической обработки металлов института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский институт цветных металлов и золота имени М. И. Калинина в 1973 г. Область научных интересов – термическая обработка цветных и черных металлов. Т. 8(391)213-32-86.

Тестоедов Николай Алексеевич – доктор технических наук, член-корреспондент Академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, генеральный конструктор, генеральный директор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Ленинградский военно-механический институт в 1974 г. Область научных интересов – проектирование космических аппаратов и космических систем информационного обеспечения. Т. 8(391-97)6-45-55.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – технология производства летательных аппаратов и технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Т. 8(391)291-92-14.

Тульский Иван Николаевич – аспирант кафедры вычислительной техники политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2006 г. Область научных интересов – программирование микроконтроллеров, процессоров, разработка вычислительных и интеллектуальных устройств, цифровая обработка сигналов. E-mail: itina_altair@mail.ru.

Туровец Анна Александровна – старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета и статистики института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 2004 г. Область научных интересов – учет на малых предприятиях. E-mail: anna.turovets@mail.ru.

Федоренко Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнических комплексов и систем политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1970 г. Область научных интересов – частотно-управляемый асинхронный электропривод. Т. 8(391)243-64-75.

Фрост Марина Б. – кандидат физико-математических наук, профессор математического факультета Кларк-колледжа (Ванкувер, США). Окончила Новосибирский государственный университет в 1984 г. Область научных интересов – дифференциальные уравнения и механика.

Ханов Владислав Ханифович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой безопасности ин-

формационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1986 г. Область научных интересов – цифровая обработка сигналов. E-mail: hanov@sibsau.ru.

Харченко Ольга Николаевна – кандидат экономических наук, профессор, заведующий кафедрой бухгалтерского учета и статистики института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Омский государственный университет в 1986 г. Область научных интересов – организация функционирования информационно-контрольных систем хозяйствующих субъектов. E-mail: ONHarchenko@sfu-kras.ru.

Царев Роман Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – информационные технологии, мультиверсионное программное обеспечение, многоатрибутивные методы принятия решений, космические системы. E-mail: rahatamatahata@mail.ru.

Чекмарев Сергей Анатольевич – аспирант кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2010 г. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, инженерия разработки программных средств, конструирование электронной аппаратуры. Т. 8(391)262-18-47.

Шаталова Наталья Николаевна – ассистент кафедры инженерной экологии Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – инженерная экология, риски хозяйствующих субъектов. E-mail: tashn2007@mail.ru.

Шахматов Александр Владимирович – аспирант кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – проектирование электронных систем и устройств, инженерия разработки программных средств, конструирование электронной аппаратуры. Т. 8(391)262-18-47.

Швецов Евгений Геннадьевич – младший научный сотрудник лаборатории мониторинга леса, старший преподаватель Института леса и древесины имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – дистанционное зондирование, обнаружение лесных пожаров, разработка методов обна-

ружения лесных пожаров. E-mail: eugeneshvetsov11@yandex.ru.

Шевцов Семен Михайлович – старший преподаватель кафедры проектирования и эксплуатации строительно-дорожных и транспортно-технологических машин института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – вибрация, вибродиагностика, датчики измерения вибрации, обработка информации. E-mail: shevsov@inbox.ru.

Шелупанов Александр Александрович – доктор технических наук, проректор по научной работе Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Окончил Томский государственный университет в 1970 г. Область научных интересов – информационная безопасность, защита информации. E-mail: saa@udcs.ru.

Энгель Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и систем Хакасского государственного университета имени Н. Ф. Катанова. Окончила Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова. Область научных интересов – нейроинформатика, нечеткая логика. E-mail: ekaterina.en@mail.com.

Югай Александр Яковлевич – доцент кафедры экономики и международного бизнеса горно-металлургического комплекса института управления бизнес-процессами и экономики Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет цветных металлов и золота в 2006 г. Область научных интересов – оптимизация в экономических системах. E-mail: yugais@rambler.ru.

Юлдашев Турсун Камалдинович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ферганский государственный педагогический институт в 1980 г. Область научных интересов – качественная теория функционально-дифференциальных уравнений с максимумами, смешанные задачи для нелинейных уравнений в частных производных четвертого порядка. E-mail: tursunbay@rambler.ru.

Hsiang-Lin Liu – доктор физико-математических наук, профессор департамента физики Национального Тайваньского университета. Окончил Национальный Тайваньский университет в 1990 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, физика магнитных явлений. E-mail: hliu@phy.ntnu.edu.tw.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА

Антипина Л. Ю., Овчинников С. Г. Квантово-химическое изучение целентеразина с учетом окружения и электронных корреляций	4
Aplesnin S. S., Romanova O. B., Krylov A. S., Hsiang-Lin Liu, Aldashev I. V. The research of raman spectra in $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions	7
Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Смирнов А. П., Елисеев Д. В., Колегова М. М. Методика анализа профиля накатного мелко модульного зубчатого колеса с помощью цифрового микроскопа	10
Валь П. В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления горного предприятия с использованием однофакторных методов	12
Зеленков П. В., Сидорова Г. А. Модифицированный алгоритм НITS	17
Ищенко А. В., Киреев И. В. Фрактальный алгоритм построения двумерных вложенных сеток	20
Казанцев А. А., Ереско С. П., Ереско А. С., Шевцов С. М. Исследование плоских рычажных механизмов специальных систем	25
Казьмин Б. Н., Трифанов И. В. О возможности создания электронного источника электроэнергии	30
Козлова Ю. Б. Модель передачи информации	35
Лапко А. В., Лапко В. А., Струков И. И., Гусаров А. А. Непараметрический классификатор и критерий Колмогорова в задаче сравнения эмпирической и теоретической функций распределения одномерной случайной величины	37
Масюк М. А. Анализ и визуализация взаимосвязей нормативно-правовых документов в справочно-правовых системах	40
Миронова В. Г., Шелупанов А. А. Анализ этапов предпроектного обследования информационной системы персональных данных	45
Нестеров В. А. Конечно-элементный расчет трехслойной балки	48
Рогалев А. Н. Вопросы реализации гарантированных методов включения выживающих траекторий управляемых систем	54
Рублева Т. В., Кашкин В. Б., Мясников В. М., Селиверстов С. А. Изменчивость полярного стратосферного озона южного полушария по спутниковым данным (аппаратура TOMS, OMI)	58
Ступина А. А., Югай А. Я., Карасева М. В. Алгоритмы оптимизации набора кредитных заявок	63
Тестоедов Н. А., Двирный Г. В., Пермьяков М. Ю. Определение величины температурной деформации размеростабильных рефлекторов	67
Тульский И. Н. Новые возможности современных радиосетей типа 3G и 4G при использовании альтернативных методов компрессии мультимедийной информации	71
Федоренко А. А., Лазовский Э. Н. Обобщенный (результатирующий) пространственный вектор плоской трехфазной линейно независимой системы сигналов	76
Frost M. B. Solvability of an initial-boundary problem for a loaded wave equation	80
Царев Р. Ю., Капулин Д. В., Завьялова О. И. Формирование топологической структуры автоматизированной системы управления космическими системами	82
Швецов Е. Г., Сухинин А. И. Оценка энергетических параметров лесных пожаров по данным спутниковой съемки	87
Engel E. A. An analysis of intelligent methods and algorithms for unlabeled data processing	92
Юлдашев Т. К. Смешанная задача для нелинейного интегро-дифференциального уравнения, содержащего куб параболического оператора	96

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Алешечкин А. М., Макаренко Г. К., Кокорин В. И. Использование спутниковых радионавигационных систем при исследованиях технического состояния объектов электроэнергетики	102
Антипин М. И. Влияние положения несущих консолей на аэродинамические характеристики амфибийных платформ	104
Ермошкин Ю. М. Области рационального применения электрореактивных двигательных установок на космических аппаратах прикладного назначения	109
Какоткин В. В., Абдулхаков А. А., Макаренко Г. К., Валиханов М. М., Гарифуллин В. Ф. Использование системы спутниковой навигации при проведении сейсморазведочных работ на водных акваториях	114

Кацура А. В., Лавренов В. А., Рябин А. А. Критерии коррозионного поражения планера летательного аппарата	116
Кислицкий М. И. Концепция двойного использования космических аппаратов	119
Крат С. А. Повышение эффективности имитаторов солнечного излучения	124
Николаев В. Н. Термоанемометрический преобразователь массовой скорости воздушного потока	128
Окладникова Е. Н., Сугак Е. В. Оценка остаточного ресурса безопасной эксплуатации с учетом случайных факторов	132
Семенова Л. А., Лысенко Е. А., Лысенко К. Е. Методика выбора универсальной вибрационной системы	136
Чекмарев С. А., Вергазов М. Ю., Лукин Ф. А., Ханов В. Х., Шахматов А. В. Моделирование бортового компьютера на базе открытых IP-блоков для малых и сверхмалых космических аппаратов	141

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ

Богданова Т. А., Меркулова Г. А., Перебоева А. А., Орелкина Т. А., Копейкин А. Ю. Оптимизация литой структуры сплава системы Mg-Zn-Zr перед горячей деформацией	148
Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Малышева Н. Н., Ковальский С. Б., Мальцева Е. Г. Изменение износостойкости стали ШХ15 при термостатировании ее в среде минерального масла М10-Г _{2К}	154
Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Кузьменко А. В., Кайзер Ю. Ф. Влияние тока, пропускаемого через фрикционный контакт, на противоизносные свойства синтетического авиационного масла ВНИИНП 50-1-4ф	160
Крушенко Г. Г., Решетникова С. Н. Проблемы определения размеров наночастиц	167
Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А., Мейстер А. Р., Григорьев А. Н. Оценка устойчивости горения дуги на малых токах	171
Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Таскин В. Ю., Аникина В. И. Влияние терморологических свойств минерализаторов на формирование керамических структур	174

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА

Бойко А. А., Бахмарева Н. В. Инструменты построения процессно-ориентированного управления воспроизводством основных фондов предприятий ракетно-космической промышленности	182
Вострова Е. И., Лобанова Е. Э. Методологические подходы к определению продуктов деятельности учреждения профессионального образования	187
Демакова Е. А. Оценка полезного эффекта от эксплуатации товаров – инструмент управления закупками	191
Ерыгин Ю. В., Рагозина М. А. Инструменты стратегического планирования производственной программы предприятий оборонно-промышленного комплекса	197
Ерыгина Л. В., Шаталова Н. Н. Систематизация факторов, оказывающих влияние на развитие предприятий оборонно-промышленного комплекса	202
Кравец А. А., Кукарцев В. В. Совершенствование мониторинга показателей качества медицинской помощи в государственном здравоохранении	207
Михалев Г. С., Батукова Л. Р. Организационное развитие средних многопрофильных предприятий корпоративного типа	212
Разжевайкин Д. В. Механизм определения инновационной составляющей в деятельности предприятий аэрокосмического комплекса	215
Смыкалова Л. Д., Аврамчикова Н. Т. Методический инструментарий в управлении предприятиями пищевой промышленности региона с учетом инновационной составляющей	219
Харченко О. Н., Туровец А. А. Допущения бухгалтерского учета в условиях МСФО-ориентированной отчетности малых предприятий	223

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	227
----------------------------------	-----

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS

Antipina L. Yu., Ovchinnikov S. G. Quantum-chemical study of coelenterazine with the account of environment and electronic correlations	4
Аплеснин С. С., Романова О. Б., Крылов А. С., Hsiang-Lin Liu, Алдашев И. В. Исследование рамановских спектров в твердых растворах $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$	7
Vavilov D. V., Iptyshev A. A., Smirnov A. P., Eliseev D. V., Kolegova M. M. Method of rolled fine pitch spur gear analysis by digital microscope	10
Val P. V. Short-term forecasting of mining enterprise energy demand by univariate methods	12
Zelenkov P. V., Sidorova G. A. Modified HITS algorithm	17
Ischenko A. V., Kireev I. V. Fractal algorithm for generation of two-dimensional nested grids	20
Kazantsev A. A., Eresko S. P., Eresko A. S., Shevcov S. M. Research of planar lever mechanisms of special systems	25
Kazmin B. N., Trifanov I. V. About possibility of creation of electronic source of electric power	30
Kozlova Yu. B. A model for information communication	35
Lapko A. V., Lapko V. A., Strukov I. I., Gusarov A. A. Nonparametric qualifier and Kolmogorov's criterion in the task of matching of empirical and theoretical cumulative distribution functions of an one-dimensional random variable	37
Masyuk M. A. Analysis and visualization system of relations of normative legal documents in legal-reference systems	40
Mironova V. G., Shelupanov A. A. Analysis of stages preproject survey information system of personal data	45
Nesterov V. A. Finite element analysis of sandwich beam	48
Rogalyov A. N. Implementation of contributed methods of containment of viable trajectories of controlled systems	54
Rubleva T. V., Kashkin V. B., Myasnikov V. M., Seliverstov S. A. Variability of polar stratospheric ozone of the southern hemisphere based on satellite data (apparatus TOMS, OMI)	58
Stupina A. A., Yugay A. Y., Karaseva M. V. Credit applications set optimization algorithms	63
Testoedov N. A., Dvirniy G. V., Permyakov M. Yu. Temperature deformation value definition of size stable reflectors	67
Tulskiy I. N. New possibilities of modern 3G and 4G radio networks, at usage of alternative methods of multimedia information compression	71
Fedorenko A. A., Lazovskiy Ed. N. Generalized (composite) space vector for a flat three-phase linearly independent system of signals	76
Фрост М. Б. Разрешимость начально-краевой задачи для уравнения, описывающего волну нагружения	80
Tsarev R. Yu., Kapulin D. V., Zavyalova O. I. Designing of topological structure for automated control system of space systems	82
Shvetsov E. G., Sukhinin A. I. Assessment of forest fire energy parameters using satellite imagery	87
Энгель Е. А. Анализ интеллектуальных методов и алгоритмов для обработки информации с пропусками	92
Yuldashev T. K. Mixed problem for nonlinear integro-differential equation involving cube of parabolic operator	96

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING

Aleshechkin A. M., Makarenko G. K., Kokorin V. I. Use of satellite radio navigating systems at researches of technical condition of electric power industry objects	102
Antipin M. I. Influence of position of bearing consoles on aerodynamic characteristics of amphibian platforms	104
Yermoshkin Yu. M. Electric propulsion's rational application range on the applied spacecrafts	109
Kakotkin V. V., Abdulhakov A. A., Makarenko G. K., Valihanov M. M., Garifullin V. F. Usage of navigation satellite system at realization of seismoprospecting works on water areas	114
Katsura A. V., Lavrenov V. A., Pyabin A. A. Criteria of airframe corrosive damage	116
Kislitsky M. I. Dual-use spacecraft conception	119

Krat S. A. Increase of solar radiation simulator efficiency	124
Nikolaev V. N. Thermo anemometric transducer of airflow mass velocity	128
Okladnikova E. N., Sugak E. V. Estimation of residual resource of safe exploitation taking into account casual factors	132
Semenova L. A., Lysenko E. A., Lysenko K. E. Approach to select of universal vibratory system	136
Chekmaryov S. A., Vergazov M. Yu., Lukin F. A., Khanov V. Kh., Shahmatov A. V. Simulation of onboard computer on the basis of open source IP-cores for small and ultra small space vehicles	141

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS

Bogdanova T. A., Merkulova G. A., Pereboeva A. A., Orelkina T. A., Kopeikin A. Yu. Optimization of cast structure of alloy of Mg-Zn-Zr system before hot deformation	148
Kovalsky B. I., Bezborodov Yu. N., Malysheva N. N., Kovalsky S. B., Maltseva E. G. Change of wear resistance of steel 11X15 at it's temperature control in environment of mineral oil M10-Г _{2K}	154
Kovalskiy B. I., Bezborodov Yu. N., Kuzmenko A. V., Kaizer Yu. F. Influence of a current passed through frictional contact on antiwear properties of synthetic aviation oil VNIINP 50-1-4f	160
Krushenko G. G., Reshetnikova S. N. Detecting sizes of of chemical compounds nanoparticles	167
Meister R. A., Lubnin M. A., Gotovko S. A., Meister A. R., Grigoryew A. N. Evaluation of burning arc stability on small currents	171
Nikiforova E. M., Eromasov R. G., Taskin V. Yu., Anikina V. I. Influence of thermorheological properties of mineralizers on ceramic structures formation	174

PART 4. ECONOMICS

Boiko A. A., Bahmareva N. V. Tools for development of the process-oriented management of reproduction of fixed capital of enterprises of the space-rocket industry	182
Vostrova E. I., Lobanova E. E. Methodological approaches for vocational training establishment activity products definition	187
Demakova E. A. Evaluation of useful effect of operating of the goods as the tools of procurement management	191
Erygin Yu. V., Ragozina M. A. Strategic planning tool of production program of enterprises of defense industrial sector	197
Erygina L. V., Shatalova N. N. Systematization of factors which influence on development of military industry complex enterprises	202
Kravets A. A., Kukartsev V. V. Perfection of monitoring of indicators of medical aid quality in the state public health services	207
Mikhalev G. S., Batukova L. R. Organizational development of mediun-sized multy-industry enterprises of corporate type	212
Razzhevajkin D. V. Product innovation index determination in aerospace industry	215
Smykalova L. D., Avramchikova N. T. Methodical tooling in management of food industry enterprises	219
Kharchenko O. N., Turovets A. A. Admissions in accounting in IFRS-based accountability of small enterprises	223

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	227
--	-----

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора (авторов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

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: 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографические ссылки).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку курсивом – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. 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.

Формулы. Простые внутрестрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

- русские и греческие символы – прямым шрифтом;
- латинские – курсивом;
- размер обычного символа – 12 пт;
- крупный индекс – 10 пт;
- мелкий индекс – 9 пт;
- крупный символ – 11 пт;
- мелкий символ – 10 пт.

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 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1. Могут содержать подрисовочную подпись, шрифтом 11 пт. Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации и иллюстрации с разрешением 300 dpi и более.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

- 1) экспертное заключение о возможности открытой публикации;
- 2) внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук);
- 3) сведения об авторе:
 - фамилия, имя, отчество (полностью);
 - ученая степень, звание, должность;
 - вуз, год его окончания;
 - область научных интересов;

- место работы, номер телефона;
- адрес для переписки (для иногородних);
- e-mail.

Внимание! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются. Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов.

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала).

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-01-00912).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.
2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords:

