

ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 1 (34)

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

© Сибирский государственный аэрокосмический
университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2011
© Коллектив авторов, 2011

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 29.03.2011. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 24,9.
Уч.-изд. л. 32,4. Тираж 1000 экз. С 27/11. Заказ 87/85.
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.

ORBITAL ORDERING PROBED BY ELECTRON-SPIN RESONANCE METHOD IN MAGNETIC SEMICONDUCTORS*

The temperature dependence of the electron-spin resonance in the 80...300 K range temperature and magnetic field up to 5 kOe has been investigated in the substance of $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions. From the temperature dependence of linewidth and g -value the orbital order is determined. The temperature hysteresis of ESR intensity in $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ is found at the cooling in the magnetic field and without it.

Keywords: magnetically ordered materials, spin-orbit effects, electron-spin resonance, sulfides.

The electron-spin resonance (ESR) can be used to detect orbital-ordering (OO) and to monitor the evolution of the OO parameter. Probing the spin of the non-integer filled d shell of $\text{Mn}^{2+\delta}$ ions by ESR, the anisotropy and temperature dependence of g -value and linewidth ΔH provide clear information on orbital order via spin-orbit coupling. Promising materials are $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions, which assume orbital ordering [1–3]. The $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions can be attributed to the multiferroic class. In the temperature ranges of $T \sim (110...120)$ K and $T \sim (230...260)$ K, the correlation between the magnetic and electric subsystems has been found [3]. The presence of this correlation is confirmed by the magnetic field dependence of the temperature variation of the permittivity having maximum at these temperatures. The first maximum in the low-temperature range is caused by the change in the orbital ordering for cobalt ions surrounded with manganese ions; the second maximum is related to the orbital order in the manganese system.

The reduced ordered moment $\mu_0 = 4.4\mu_B$ in the AF structure of MnS may be the result of change of manganese ion valency $\text{Mn}^{2+\delta}$ or repartition of electron density between e_g - and t_{2g} -orbitals. In any case the number of t_{2g} the orbital occupancy is not equal to $n_{t_{2g}} = 3$. The uniform orbital occupancy at every site is formed at some high temperature. The MnS_6 octahedra distortion is small and essentially undetectable in X-ray experiments on MnS. The crystal field acting on the $\text{Mn}^{2+\delta}$ ion is therefore nearly cubic, and heuristically one expects unquenched orbital moment. The spin dynamics of MnS are highly sensitive to the orbital occupancy and can provide important information in this regard.

The aim of the study is to bring to light on mechanism of origin of the correlation between the magnetic and elastic subsystems [3; 4], to establish the role of orbital fluctuations on the dynamical properties $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ sulfides in the wide frequency range.

The crystal structure of the $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ sulfides was studied with a DRON-3 facility in monochromatic $\text{CuK}\alpha$ -radiation at a temperature of 300 K. According to the X-ray diffraction data, the $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ samples with $0 < x < 0.4$ have the NaCl-type face-centered cubic (FCC) lattice. With an increase in concentration of cation substitution (x), the lattice

parameter linearly decreases from 5.222 Å ($x = 0$) to 5.204 Å ($x = 0.4$), which evidences the formation of the 6-MnS-based solid solutions in the system [2].

The degree of inhomogeneity of the magnetic system, the effect of the orbital magnetic moment, and the relaxation mechanism can be established by an ESR method. Cobalt and its compounds are characterized by a high g -factor ($g > 3$), which is not observed in the compound under study. This confirms magnetic homogeneity of the $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions. The magnetic resonance measurements were performed with a Bruker Elexsys 580 spectrometer at X-band frequency, using a continuous gas-flow cryostat for He. The sample was cooled from 300 K down to 80 K in zero magnetic field and in the field $H = 5$ kOe. It enables to establish the dependence of the local magnetic characteristics of the sample on its magnetic prehistory and existence of degeneration on the orbital magnetic moment.

The effective g -factor value $g_{\text{eff}} = h\nu/(\mu_B H_{\text{res}})$ is determined from the resonance field, which sharply increases in the temperature range $150 \text{ K} < T < 180 \text{ K}$ as shown in Fig. 1.

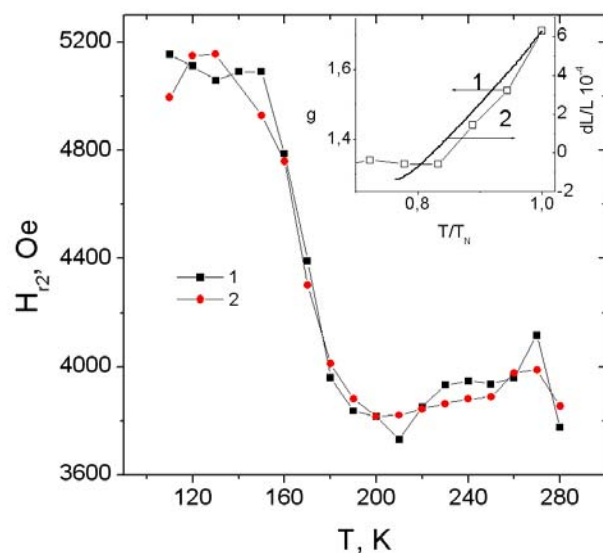


Fig. 1. Temperature dependences of the resonance field upon cooling in zero magnetic field (ZFC – 1) and in the field $H = 5$ kOe (FC – 2) for $\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.95}\text{S}$. The inset shows the temperature dependence of g -factor (1) and relative extension of sample dL/L (2)

* 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.

At $T < 150$ K, the g -factor is nearly temperature-independent and takes a value of about 1.3, whereas in the temperature range $190 \text{ K} < T < 280 \text{ K}$ its value varies within 1.7...1.75. Based on our data, we estimate $\Delta g/g \sim 0.15$, where g is the free-electron Lande factor and Δg is its shift in the crystalline environment.

In the absence of any appreciable static Jan–Teller distortion as observed experimentally by the X-ray diffraction data [2], one expects that the spin-orbit interaction splits the t_{2g} multiplet of the cubic crystal field Hamiltonian into a quadruple degenerate ground state and a higher-lying Kramers doublet. Even if a static JT distortion at the limits of the experimental error bars is included, the orbital contribution to the moment remains significant to the spin moment [5].

Antiferromagnetic long-range order causes the splitting d_{xz} - and d_{yz} -orbitals as a result of spin-orbital interaction at $T < T_N$, that leads to deformation octahedra. The temperature dependence of relative deformation $\Delta L/L$ for the $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ with $x = 0.05$ is similar to $g(T)$ value as shown in insert to Fig. 1. These data prove a close relationship between spin and orbital magnetic moments, lattice deformation. The orbital ordered phase is characterized by an anisotropy of ΔH , which for polycrystalline samples reduces to a broad maximum in $\Delta H(T)$ [6]. For doped and pure LaMnO_3 the expression for the linewidth ESR due to crystal-field effects and accounting only for the rotations of octahedral were obtained [7]. This theoretical approach is summarized in the formula [8]:

$$\Delta H_{\theta,\varphi}(T) = \frac{\chi_0(T)}{\chi(T)} \times \left[\tau^{2\beta} \left(\Gamma_{\text{CE}} f_{\text{reg}}(\theta, \varphi) + \Gamma_{\text{CDF}} \left(\frac{T_N}{6(T - T_N)} \right)^\alpha \right) f_{\text{div}}(\theta, \varphi) \right] \quad (1)$$

with the free Curie susceptibility $\chi_0 \sim 1/T$, the static susceptibility $\chi(T)$, and $\tau = 1 - T/T_{JT}$. The first and second term describes the regular and divergent crystal field contributions, respectively. Only the latter diverges for $T \rightarrow T_N$ with an exponent α , whereas both terms decrease for $T \rightarrow T_{JT}$ with a critical exponent 2β . For polycrystalline compounds the averaging of angular factors $f_{\text{reg}}(\theta, \varphi)$, $f_{\text{div}}(\theta, \varphi)$ gives constant. We neglected here angular dependence $\Delta H(\theta, \varphi)$ and the linewidth is well fitted by

$$\Delta H(T) = \frac{T + T_{\text{CW}}}{T} \times \left[\tau^{2\beta} \left(\Gamma_{\text{CE}} + \Gamma_{\text{CDF}} \left(\frac{T_N}{6(T - T_N)} \right)^\alpha \right) \right]. \quad (2)$$

As shown in Fig. 2 (solid line) a qualitative description was obtained by fitting the $\Delta H(T)$ data with $\Gamma_{\text{CE}} = 1.8 \text{ kOe}$, $\Gamma_{\text{CDF}} = 0.4 \text{ kOe}$ and $\beta = 0.14(2)$, $\alpha = 1.3(5)$ with fixed $T_N = 165 \text{ K}$, $T_{\text{CW}} = 460 \text{ K}$, $T_{JT} = 280 \text{ K}$. The critical indexes have been satisfactory agreement with estimates $\beta = 0.16(1)$, $\alpha = 1.8$ for polycrystalline LaMnO_3 [8].

Below the Neel temperature, one more weak resonance with $g = 2.03$ is observed in the field H_{r1} whose intensity is lower than the main resonance intensity (I_{r2}) by three orders of magnitude (insert in Fig. 2). This resonance may be associated with spin of conductivity electron of impurity ion Co^{+2} and magnons that formative spin polaron. Spin polaron

density disappears at $T > T_N$. The ESR linewidth in the field $H_{r1} = 3.35 \text{ kOe}$ below the Neel temperature is also temperature-independent and may be related to localization of an spin-polaron with a small radius. The relaxation time is determined as $1/T_1 = \omega_{\text{LS}}^2 ac/x$ [9], where ω_{LS} is the energy of the spin-orbital interaction of electron, x is the Fermi velocity of an electron ($x \sim 10^6 \text{ m/s}$), a is the size of an localized area close to the lattice constant, and c is the concentration of the spin polaron. For example, at $c = 0.001$ the spin-orbital interaction is $\omega_{\text{LS}} = 10^{12} \text{ Hz}$.

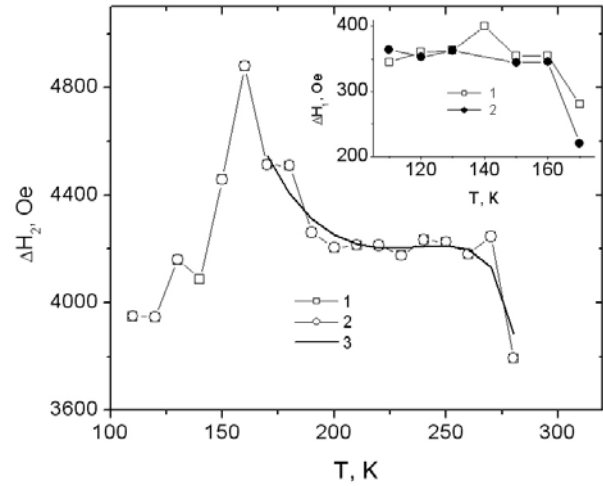


Fig. 2. Temperature dependences of the linewidth for the resonance field H_{r2} upon cooling in zero magnetic field (ZFC – 1) and in the field $H = 5 \text{ kOe}$ (FC – 2), fitting curve (3) according to Eqn. 2 for $\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.95}\text{S}$.

The inset shows temperature dependence of the linewidth for the resonance field H_{r1} upon cooling in zero magnetic field (ZFC – 1) and in the field $H = 5 \text{ kOe}$ (FC – 2)

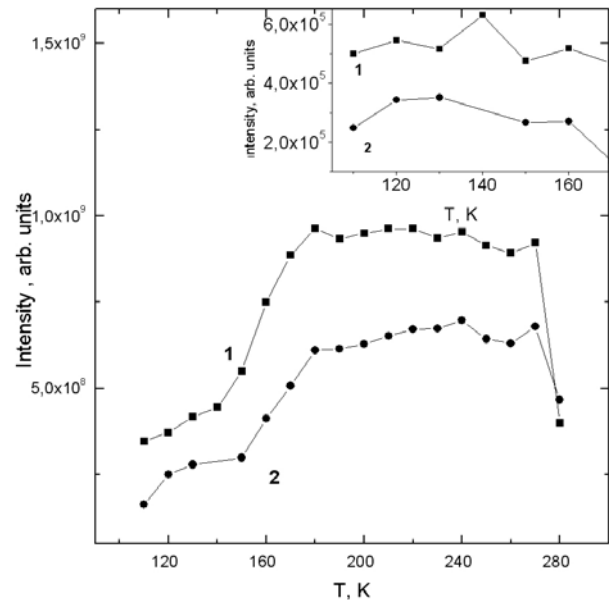


Fig. 3. Temperature dependences of the ESR spectra intensity for $\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.95}\text{S}$ sample upon cooling in zero magnetic field (ZFC – 1) and in the field $H = 5 \text{ kOe}$ (FC – 2) in resonance field H_{r2} .

The inset shows temperature dependences of the ESR spectra intensity sample upon cooling in zero magnetic field (ZFC – 1) and in the field $H = 5 \text{ kOe}$ (FC – 2) in resonance field H_{r1}

The intensity of the magnetic resonance line is determined as a product of signal amplitude and a square of linewidth H_p obtained from the distance between the absorption derivative peaks. In Fig. 3 the intensities ESR are shown to depend on the prehistory of sample. In the sample cooled in the external magnetic field $H = 5$ kOe, the signal intensity decreases approximately by 40...60 %. It may be explained by change of direction of magnetic moments in the uniaxial antiferromagnet in the vicinity of spin-flip field. At cooling in the field the vector AF is parallel to alternating magnetic field, that leads to absence of ESR in linear approximation.

Intensity I_{r2} of the ESR in field H_{r2} decreases with temperature across the phase transition paramagnetic-antiferromagnetic. In particular, in the magnetically ordered phase the ESR intensity is directly proportional to a number of magnons, $I \sim n \sim (S - \langle S^z \rangle)$ or, in normalized units, $I/I_0 \sim (1 - m)$, where m is the sublattice magnetization normalized to spin.

The absence of the temperature dependence of the linewidth (Fig. 2) in the range $190 \text{ K} < T < 270 \text{ K}$ allows one to consider the spin-orbital interaction to be the fundamental mechanism of spin relaxation and formation of short range orbital order.

Two frequencies of ESR are found in $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solution below Neel temperature. These resonances are ascribed to spin polaron and spin of localized electrons. Temperature independent behavior of the ESR linewidth and temperature hysteresis of the intensity reveal at the cooling in the external magnetic field and without it in the paramagnetic state at $T < 280 \text{ K}$, that is accounted for by formation of orbital disordered state.

References

1. Conductivity, weak ferromagnetism, and charge instability in an $\alpha\text{-MnS}$ single crystal / S. S. Aplesnin, L. I. Ryabinkina, G. M. Abramova et al. // Phys. Rev. B. 2005. Vol. 71. P. 125204–125212.
2. 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 Phys. 2008. Vol. 106. P. 765–772.
3. 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.
4. The magnetoelastic effect in $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ solid solutions / S. S. Aplesnin, L. I. Ryabinkina, O. B. Romanova et al. // Solid State Comm. 2010. Vol. 150. P. 564–567.
5. MacLean D. A., Ng H. N., Greedan J. E. Crystal structures and crystal chemistry of the RETiO_3 perovskite: RE = La, Nd, Sm, Gd, Y // J. Solid State Chem. 1979. Vol. 30. P. 35–44.
6. Interplay of superexchange and orbital degeneracy in Cr-doped LaMnO_3 / J. Deisenhofer, M. Paraskevopoulos, H.-A. Krug von Nidda, A. Loidi // Phys. Rev. B. 2002. Vol. 66. P. 054414–054414-7.
7. Crystal field, Dzyaloshinsky–Moriya interaction, and orbital order in $\text{La}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}\text{MnO}_3$ probed by ESR / J. Deisenhofer, M. V. Eremin, D. V. Zakharov et al. // Phys. Rev. B. 2002. Vol. 65. P. 104440–104440-6.
8. Orbital order parameter in $\text{La}_{0.95}\text{Sr}_{0.05}\text{MnO}_3$ probed by electron spin resonance / J. Deisenhofer, I. B. Kochelaev, E. Shilova et al. // Phys. Rev. B. 2003. Vol. 68. P. 214427–214427-5.
9. Garifyanov N. S., Luchina S. A. EPR of some sulfur – containing nitrosyl – Mn(II) – complexes // Rus. Chem. Bulletin. 1969. Vol. 18. P. 421–422.

С. С. Аплеснин, А. М. Воротынов, О. Б. Романова, М. А. Лопатина

ОБНАРУЖЕНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

На твердых растворах $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ проведены исследования электронного спинового резонанса в интервале температур 80...300 К и магнитных полей до 5 кЭ. Из температурных зависимостей ширины линии и величины g-фактора определено орбитальное упорядочение. В $\text{Co}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ найден температурный гистерезис интенсивности электронного спинового резонанса, измеренной при охлаждении в магнитном поле и в нулевом магнитном поле.

Ключевые слова: магнитно упорядоченные материалы, спин-орбитальный эффект, электронный спиновый резонанс, сульфиды.

© Aplesnin S. S., Vorotynov A. M., Romanova O. B., Lopatina M. A., 2011

Д. В. Вавилов, М. М. Колегова, А. А. Иптышев, Д. Б. Елисеев

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ ПЕРЕДАЧ, ФОРМООБРАЗУЕМЫХ НАКАТЫВАНИЕМ СРЕДСТВАМИ САПР

Рассмотрена методика анализа кинематики и управления качественными характеристиками накатной зубчатой передачи при помощи современных средств имитационного моделирования.

Ключевые слова: кинематика зубчатой пары, имитационное моделирование, эвольвентные зубчатые передачи.

Широкий спектр применения передаточных механизмов на основе зубчатых колес порождает разнообразие требований к их свойствам, что влечет за собой разнообразие применяемого инструментально-технологического обеспечения их качества, выбор которого должен в максимальной степени удовлетворять конкретному набору требований к передаче. Можно отметить, что общим требованием для всех типов передач является обеспечение работоспособности с заданной вероятностью безотказной работы. Однако и здесь различия в реальных условиях работы и расчетный ресурс, от единиц минут до десятков лет, требуют выбора конкретной совокупности средств реализации, начиная с определения адекватных техническому заданию на проектирование геометрически-кинематических параметров передачи. Этот подход обусловлен тем, что геометрия профилей контактирующих пар определяет характер взаимодействия зубьев при передаче нагрузки и, следовательно, интенсивность их изнашивания, а в конечном счете и ресурс работы.

В многоступенчатых приводах космических аппаратов, в частности механизмах поворота антенн, наиболее важную роль играет первая ступень привода. Так, например, анализ статистики отказов привода в работе [1], показывает, что наибольшему износу подвержены первая и третья ступень. Установлено [1; 2], что кинематическая неточность первой ступени вызывает динамическую нагрузку на вторую и дальнейшие ступени. На третьей ступени крутящий момент достигает достаточной величины и колебания окружной скорости ведущего колеса, в частности в момент пуска, приводят к возникновению ударной нагрузки. Одним из способов решения данной проблемы является минимизация колебаний угловых скоростей в зубчатых парах привода. Этого можно достигнуть путем оптимизации параметров зубчатой пары и высокой точности изготовления.

В механизмах поворота антенны наиболее критичным параметром являются колебания шага зубьев, которые в первую очередь приводят к возникновению колебаний в угловых скоростях ступеней привода. Второй момент – обеспечение плавного входа в зацепление путем выбора таких параметров пары, при которых угол между касательными к профилям сопряженных зубьев, проходящими через точку контакта в момент входа зубьев в зацепление, будет близким к нулю (либо минимально возможным). Одним из эффективных способов решения данной проблемы является использование накатных зубчатых колес [2].

Существующие технологии изготовления накатных зубчатых колес позволяют получить передачи, обладающие рядом преимуществ по сравнению с полученными резанием, но имеющие более низкую кинематическую точность. Современные средства компьютерного моделирования позволяют на этапе проектирования с достаточной степенью достоверности оценить качество синтезируемой передачи и обеспечить необходимый и достаточный уровень качественных показателей.

В работе [3] разработана методика имитационного моделирования процесса формообразования мелкозубчатых колес в пакете MSC.Marc 2007. В результате моделирования была получена геометрия накатного колеса. В данной работе представлено сравнительное исследование кинематических характеристик «накатанных» и «нарезных» передач. Исследование кинематических характеристик зубчатой пары проводилось в САЕ-пакете MSC.visualNastran Desktop 2005. Данный САЕ-пакет позволяет моделировать кинематику, динамику и напряженно-деформированное состояние механизмов и узлов деталей машин [4]. Для сравнения кинематических характеристик использовался привод с накатным (полученным по авторской методике) и нарезным (полученным по стандартной методике) зубчатым колесом.

Необходимо отметить, что при численном моделировании кинематики зубчатого привода принимаются следующие допущения: отсутствует погрешность шага зубчатого колеса, полученного резанием, отсутствуют деформации профилей колес под нагрузкой, не учитываются технологические зазоры, не учитывается пятно контакта, материал изотропен. В модели нет погрешности шага вследствие огрехов изготовления, обусловленных спецификой построения моделей зубчатых колес в САЕ-пакетах. В связи с вышеизложенным зубчатая пара с нарезным зубчатым колесом, спроектированным по стандартной методике, выбрана в качестве эталона для сравнения.

В процессе исследования кинематики привода были проанализированы несколько пар с итеративно изменяемыми параметрами геометрии как профиля накатываемого колеса путем смещения накатника в процессе формообразования, так и накатника. В качестве начальных параметров для моделирования была взята зубчатая пара со следующими параметрами: $m = 0,3$ мм, $z_1 = 198$, $z_2 = 76$, x_1 и $x_2 = 0$.

Все варианты моделировались с одинаковыми граничными условиями. В качестве граничных условий на шестерне задано вращение со скоростью 6 000 град/с

(1 000 об/мин). На колесе задан момент сопротивления 1 Н·м и демпфирование 0,001 Н·м. Перемещения шестерни и колеса во всех направлениях запрещены (рис. 1).

В качестве параметров решателя заданы:

- точность позиционирования – $1 \cdot 10^{-5}$ м;
- точность вращения – $1 \cdot 10^{-4}$ град;
- точность сборки – $1 \cdot 10^{-6}$ м;
- точность связывания – $1 \cdot 10^{-4}$ м;
- количество значимых цифр – 6;
- время интегрирования – $5 \cdot 10^{-6}$ с.

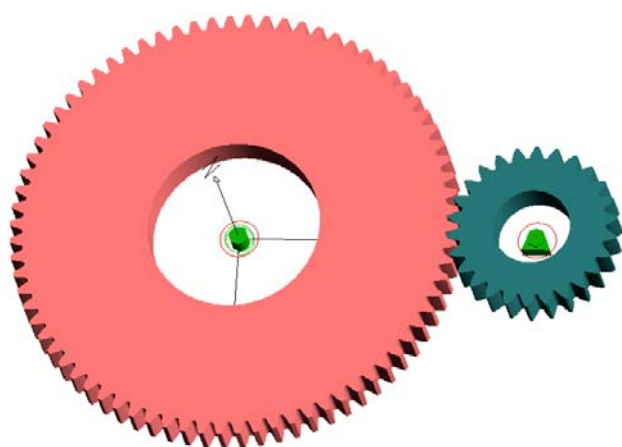


Рис. 1. Модель для исследования кинематики зубчатой пары в MSC.VisualNastran

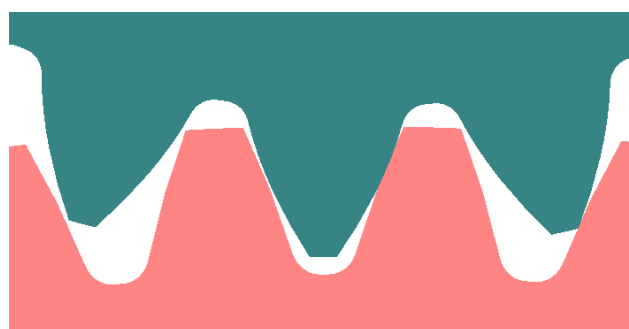
Параметры материала колес:

- плотность – 7 850 кг/м³;
- модуль упругости – $2.1 \cdot 10^{11}$ Па;
- коэффициент Пуассона – 0,29;
- коэффициент реституции – 0,7;
- коэффициент трения – 0,15.

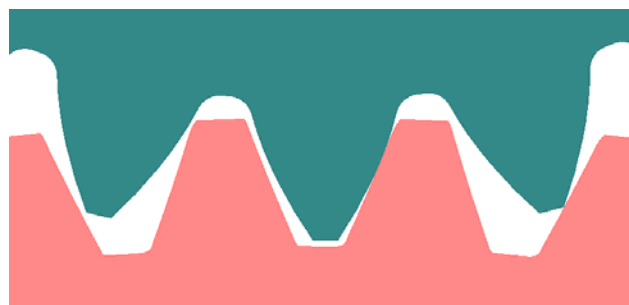
Транслирование геометрии колеса, полученного накатыванием, из MSC.Marc в MSC.VisualNastran напрямую из-за специфики пакетов не представляется возможным. Для этого координаты узлов деформированной конечно-элементной сетки передаются в CAD-пакет Solidworks. Далее при помощи сплайнов происходит восстановление геометрии колеса. В данном случае неизбежно возникают погрешности при аппроксимации. Также погрешность возникает в процессе моделирования формообразования накатыванием (из-за постоянного перестроения конечно-элементной сетки происходит «сглаживание» острых кромок) (рис. 2). При визуальном сравнении нарезного (рис. 2, а) и накатного (рис. 2, б) колеса видны различия в геометрии. Отличается впадина и вершина зуба – накатной зуб более прямой и имеет сужение вершины. Это сказывается на характере передачи движения и величине бокового зазора.

В качестве основного результата моделирования получаем график изменения угловой скорости колеса (град/с) за время (с) (рис. 3). Так как угловая скорость шестерни – величина постоянная, то разделив угловую скорость колеса на угловую скорость шестерни, получаем график изменения передаточного отношения, идентичный изменению угловой скорости колеса.

В проведенных численных экспериментах моделировалось взаимодействие накатного колеса шестернями, нарезанными с различными коэффициентами смещения. Экспериментальным путем было установлено, что переходные процессы, возникающие в начальный момент движения, заканчиваются за 0,005 с. Все приведенные результаты сравнивались на временном отрезке 0,01 с. За это время в зацепление входят 5 пар зубьев.



а



б

Рис. 2. Сравнение геометрии пар с нарезным (а) и накатным (б) зубчатым колесом

В результате было промоделировано 10 вариантов с различными параметрами (табл. 1). После каждой итерации производилась оценка результатов и определялись параметры следующего решения.

На графике изменения угловой скорости колеса видны значительные колебания (см. рис. 3). Среднее значение угловой скорости составляет 1 699,47 град/с. Среднее арифметическое отклонение (величина, показывающая среднюю величину отклонения угловой скорости от ее среднеарифметического значения за анализируе-

Таблица 1

Параметры колес

Параметры	Варианты									
	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент смещения накатника	–	0	0	0	0	0,1	–0,1	–1	–2	–0,5
Коэффициент смещения колеса	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Коэффициент смещения шестерни	0,3	0,3	0,5	0,7	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

* – эталонное нарезное колесо

мый период времени) для данной передачи составляет 58,07 град/с.

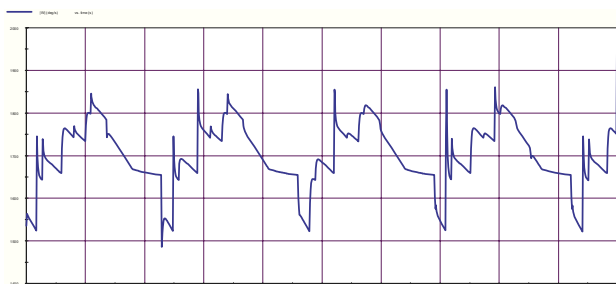


Рис. 3. График изменения угловой скорости колеса ($x_1 = 0,3$)

График сравнения результатов моделирования кинематики зубчатых пар с накатными колесами представлен на рис. 4.

Использование оригинальной методики проектирования накатных зубчатых передач [5] приводов космических аппаратов позволяет оптимизировать геометрию колеса по заданным параметрам. В процессе перебора вариантов (табл. 2) можно наблюдать степень влияния таких параметров, как коэффициенты смещения на накат-

нике, коэффициенты смещения на колесе, межосевое расстояние, на колебания угловой скорости.

Предложенная методика предполагает итеративное приближение к заданным показателям качества. Проведенные исследования показали возможность управлять качественными показателями накатных зубчатых колес на этапе проектирования. В результате итерационного изменения параметров накатного зубчатого колеса удалось более чем в два раза повысить плавность хода передачи.

Библиографические ссылки

1. Усаков В. И., Городилов А. А. Проблемы повышения эксплуатационных свойств приводов с зубчатыми передачами // Проблемы техники и технологий XXI века : тез. докл. науч. конф. ; КГТУ. Красноярск, 1994. С. 125–126.
2. Проектирование инструмента для накатывания зубчатых передач с заданными свойствами / В. И. Усаков, А. А. Иптышев, Н. А. Колбасина, А. С. Дегтярев // Вестн. Хакас. техн. ин-та – филиала КГТУ. 2000. № 7. С. 38–43.

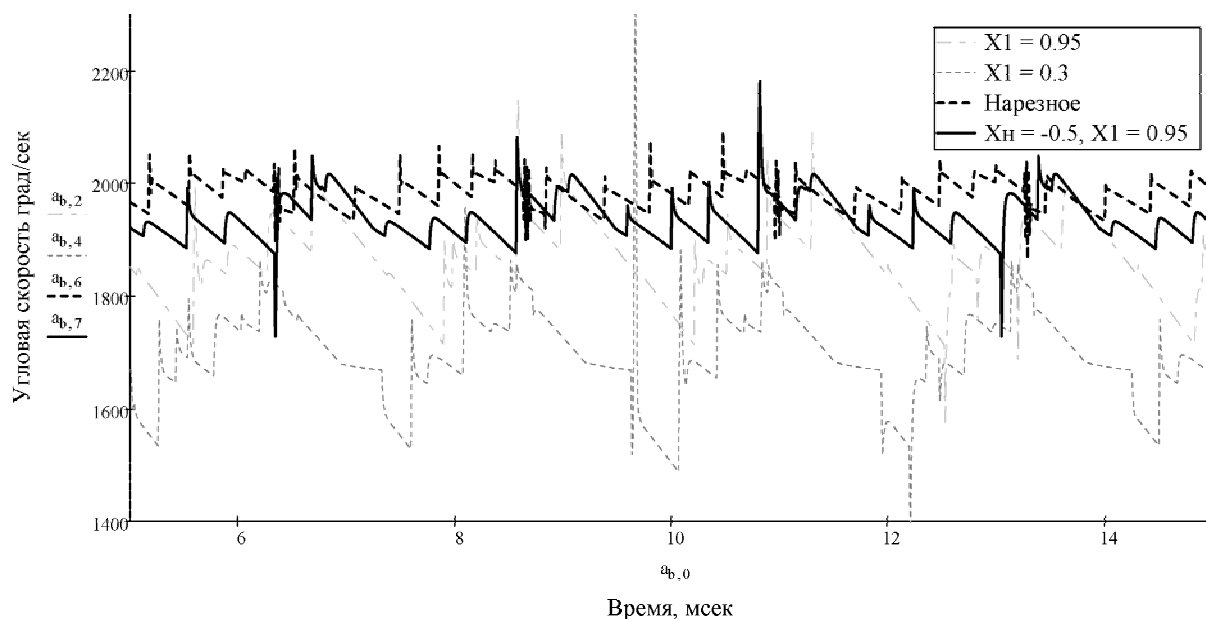


Рис. 4. Сравнение результатов моделирования эталонной передачи с накатными колесами

Таблица 2

Результаты моделирования

Варианты	Параметры передачи	Среднее значение угловой скорости, град/с	Среднее отклонение, град/с	Кратность эталону
1	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = 0; a_w = 15,300$ мм	1 981,99	21,04	—
2	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,3; x_2 = 0; a_w = 15,390$ мм	1 699,47	58,07	2,76
3	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,5; x_2 = 0; a_w = 15,445$ мм	1 698,65	63,78	3,03
4	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,5; x_2 = 0; a_w = 15,501$ мм	1 869,92	65,98	3,14
5	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = 0; a_w = 15,568$ мм	1 865,25	54,78	2,60
6	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = 0,1; a_w = 15,530$ мм	1 866,59	61,03	2,90
7	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = -0,1; a_w = 15,568$ мм	1 867,76	51,59	2,45
8	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = -1; a_w = 15,568$ мм	1 867,22	50,04	2,37
9	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = -2; a_w = 15,496$ мм	1 867,24	45,59	2,17
10	$m = 0,3; z_1 = 26; z_2 = 76; x_1 = 0,95; x_2 = -0,5; a_w = 15,568$ мм	1 936,54	29,57	1,40

3. Вавилов Д. В. Моделирование накатных мелко-модульных передач с заданными показателями качества // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 83–86.

4. Усаков В. И., Колбасина Н. А., Скорняков С. Н. Использование сплайнов для аппроксимации реальных поверхностей при проектировании зубчатых передач // Качество продукции машиностроения : тез. докл. науч.-

практ. конф. / под ред. В. Ф. Тереньтева, В. И. Усакова ; КГТУ. Красноярск, 1998. С. 106–107.

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

D. V. Vavilov, M. M. Kolegova, A. A. Iptyshev, D. B. Eliseev

RESEARCH OF ROLLED SPUR GEARS KINEMATIC CHARACTERISTICS BY USING COMPUTER-AIDED SOFTWARE

In article is presented an analysis method of rolled spur gear kinematics and quality characteristic manage by using modern computer aided software.

Keywords: gear couple kinematics, simulation modeling, spur gear transmissions.

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

УДК 532.5, 621.22

И. И. Вайнштейн, П. С. Литвинов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕСУЩЕГО СЛОЯ ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ

Построена математическая модель несущего слоя газожидкостного подшипника скольжения бесконечной длины. В линейном приближении по относительному эксцентриситету получены формулы для давления, скоростей, линии раздела слоев газа и жидкости, удельной подъемной силы и удельных моментов трения на шипе и втулке.

Ключевые слова: двухслойный поток, комбинированный подшипник скольжения.

В Красноярском государственном техническом университете разработаны конструкции радиальных комбинированных подшипников, у которых рабочий зазор состоит из несущего газового слоя и слоев смазки (А. с. 1042400 СССР, МКИ F 16 C 17 16. Комбинированный подшипник / А. С. Тюриков, С. Н. Шатохин, В. М. Грук. № 2586690 ; заявл. 3.09.78.). Эти конструкции отличаются повышенной несущей способностью, пониженной вибрационной активностью, надежностью в работе и долговечностью. Такие подшипники применяются в целях улучшения качества и условий эксплуатации оборудования, например для вентиляции отсеков надводных и подводных кораблей, что позволяет значительно снизить шум и вибрацию.

Математическая постановка задачи. При построении математической модели несущего газового слоя жидкостного подшипника делается предположение о постоянстве плотности и вязкости газа и выполнении уравнения состояния

$$\frac{P}{\rho^{\kappa}} = \text{const}, \quad (1)$$

где P – давление; ρ – плотность.

С учетом малости относительной толщины смазочного пространства получены соответствующие уравнения Рей-

нольдса для давления, являющиеся основополагающими для расчета основных характеристик таких подшипников [1; 2].

Рассмотрим бесконечный двухслойный ($i = 1, 2$) цилиндрический подшипник. Центр шипа радиуса R_1 в точке O_1 , центр втулки радиуса R_2 в O_2 . Пусть шип и втулка вращаются с угловыми скоростями ω_1 и ω_2 соответственно. Первая среда ($i = 1$) – газ примыкает к шипу, вторая ($i = 2$) – жидкость – к втулке (рис. 1). Движение можно считать плоским между двумя эксцентрично расположенными окружностями. Рассматривается установившееся течение.

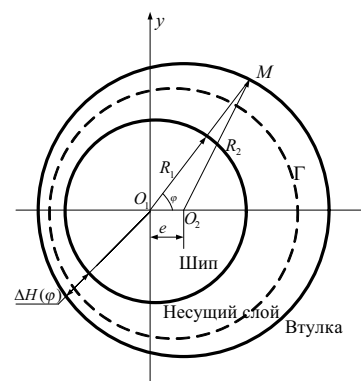


Рис. 1.

Двухслойный поток в смазочном слое представляет собой совместное движение двух несмешивающихся сред – жидкости и газа, контактирующих по некоторой линии (линии раздела) Γ .

Для каждого слоя запишем уравнения Навье–Стокса

$$\rho_i \frac{d\vec{V}^{(i)}}{dt} = -\text{grad} P^{(i)} + \mu_i \Delta \vec{V}^{(i)} + \left(\frac{\mu_i}{3} + \mu'_i \right) \text{grad} \text{div} \vec{V}^{(i)} \quad (2)$$

и неразрывности

$$\text{div}(\rho_i \vec{V}^{(i)}) = 0, \quad (3)$$

где $\vec{V}^{(i)}$ – вектор относительной скорости движения частицы жидкости; $P^{(i)}$ – давление; μ_i – коэффициент вязкости; ρ_i – плотности сред; μ'_i – второй коэффициент вязкости. Для жидкого слоя последнее слагаемое в (2) отсутствует.

При постановке граничных условий будем следовать работам [3; 4].

На поверхности шипа и втулки – условие прилипания:

$$\vec{V}^{(1)} = \vec{V}_{\text{шип}}, \quad \vec{V}^{(2)} = \vec{V}_{\text{втулки}}. \quad (4)$$

На линии раздела $\Gamma: F(x, y) = 0$:

$$\vec{V}^{(1)} = \vec{V}^{(2)}, \quad \vec{V}^{(i)} \cdot \vec{\nabla} F = 0, \quad \mathbf{P}^{(1)} \cdot \vec{n} - \mathbf{P}^{(2)} \cdot \vec{n} = 2\sigma H \vec{n} + \nabla_{\Gamma} \sigma, \quad (5)$$

где $\mathbf{P}^{(i)}$ – тензор напряжений в i -м слое; H – средняя кривизна поверхности раздела сред; $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к линии Γ , направленный во вторую область; $\nabla_{\Gamma} = \nabla - \vec{n}(\vec{n} \cdot \nabla)$ – векторный дифференциальный оператор (поверхностный градиент); σ – коэффициент поверхностного натяжения.

К каждому слою в полярной системе координат с центром в O_1 (центр шипа) запишем систему уравнений, которая получается из (2) и (3) после линеаризации по малому параметру $\frac{h}{R_1}$, $h = R_2 - R_1$, характерному для подшипников скольжения [1; 2]:

$$\mu_i \frac{\partial^2 V_{\phi}^{(i)}}{\partial r^2} = \frac{1}{r} \frac{\partial P^{(i)}}{\partial \phi}, \quad \frac{\partial P^{(i)}}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial(\rho_i V_r^{(i)})}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho_i V_{\phi}^{(i)})}{\partial \phi} = 0. \quad (6)$$

Перейдем от переменной r к переменной ζ :

$$r = R_1 + h\zeta, \quad 0 \leq \zeta \leq H_0(\phi),$$

$$H_0(\phi) = 1 + \varepsilon \cos \phi, \quad \varepsilon = \frac{e}{h}, \quad h = R_2 - R_1.$$

Уравнение линии раздела запишем в виде $r = R_1 + h\zeta_a(\phi)$.

Перейдем к безразмерным величинам:

$$V_{\phi}^{(i)} = V_0 \tilde{V}_{\phi}^{(i)}, \quad V_r^{(i)} = V_0 \frac{h}{R_1} \tilde{V}_r^{(i)} = \omega_0 h \tilde{V}_r^{(i)},$$

$$P^{(i)} = P_a \frac{R_1^2}{h^2} \tilde{P}^{(i)}, \quad \rho^{(i)} = \rho_a \tilde{\rho},$$

где $V_0 = \omega_0 R_1$; $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$; P_a – атмосферное давление; ρ_a – плотность в состоянии покоя. С учетом малости $\frac{h}{R_1}$ перепишем уравнения (6) в безразмерных величинах:

$$\frac{\mu_i V_0}{P_a R_1} \frac{\partial^2 \tilde{V}_{\phi}^{(i)}}{\partial \zeta^2} = \frac{\partial \tilde{P}^{(i)}}{\partial \phi}, \quad \frac{\partial \tilde{P}^{(i)}}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial(\tilde{\rho}_i \tilde{V}_r^{(i)})}{\partial \zeta} + \frac{\partial(\tilde{\rho}_i \tilde{V}_{\phi}^{(i)})}{\partial \phi} = 0.$$

Рассмотрим граничные условия.

Условие на шипе ($\zeta = 0$):

$$\tilde{V}_{\phi}^{(1)} = \frac{\omega_1 R_1}{V_0}, \quad \tilde{V}_r^{(1)} = 0. \quad (7)$$

Условие на втулке ($\zeta = H_0(\phi)$):

$$\tilde{V}_{\phi}^{(2)} = \frac{\omega_2 R_2}{V_0}, \quad \tilde{V}_r^{(2)} = \tilde{V}_{\phi}^{(2)} \frac{dH_0}{d\phi}. \quad (8)$$

Условие на линии раздела ($\zeta = \zeta_a$):

$$\tilde{V}_{\phi}^{(1)} = \tilde{V}_{\phi}^{(2)} = \tilde{V}_a, \quad \tilde{V}_r^{(i)} = \tilde{V}_{\phi}^{(i)} \frac{\partial \zeta_a}{\partial \phi}. \quad (9)$$

Рассмотрим третье условие в (5). Запишем тензор напряжений

$$\mathbf{P}^{(i)} = 2\mu_i \mathbf{E}^{(i)} + \left(-P^{(i)} + \lambda' \text{div} \vec{V}^{(i)} \right) \mathbf{I}. \quad (10)$$

Для жидкого слоя последнее слагаемое в (10) равно нулю, так как $\text{div} \vec{V} = 0$. Для газового слоя $\lambda' = -\frac{2\mu}{3}$, $\mathbf{E}^{(i)}$ – тензоры скоростей деформации; $\mathbf{I}$ – единичный тензор. С учетом малости $\frac{h}{R_1}$

$$\mathbf{P}^{(i)} = \begin{pmatrix} -P_a \left(\frac{R_1}{h} \right)^2 \tilde{P}^{(i)} & \frac{\mu_i \omega_0 R_1}{h} \frac{\partial \tilde{V}_{\phi}^{(i)}}{\partial \zeta} \\ \frac{\mu_i \omega_0 R_1}{h} \frac{\partial \tilde{V}_{\phi}^{(i)}}{\partial \zeta} & -P_a \left(\frac{R_1}{h} \right)^2 \tilde{P}^{(i)} \end{pmatrix}, \quad 2\sigma H \vec{n} + \nabla_{\Gamma} \sigma = \begin{pmatrix} \frac{2\sigma}{R_1} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma}{\partial \phi} \end{pmatrix},$$

получаем на линии раздела

$$\tilde{P}^{(1)} = \tilde{P}^{(2)}, \quad \mu_1 \frac{\partial \tilde{V}_{\phi}^{(1)}}{\partial \zeta} = \mu_2 \frac{\partial \tilde{V}_{\phi}^{(2)}}{\partial \zeta}.$$

Таким образом, приходим к следующей задаче: требуется найти функции $\tilde{V}_{\phi}^{(i)}(\zeta, \phi)$, $\tilde{V}_r^{(i)}(\zeta, \phi)$, $\tilde{P}^{(i)}(\zeta, \phi)$ и уравнение линии раздела $\zeta = \zeta_a(\phi)$ из уравнений

$$\frac{\partial^2 \tilde{V}_{\phi}^{(i)}}{\partial \zeta^2} = \frac{1}{k_i} \frac{\partial \tilde{P}^{(i)}}{\partial \phi}, \quad \frac{\partial \tilde{P}^{(i)}}{\partial \zeta} = 0, \quad \frac{\partial(\tilde{\rho}_i \tilde{V}_r^{(i)})}{\partial \zeta} + \frac{\partial(\tilde{\rho}_i \tilde{V}_{\phi}^{(i)})}{\partial \phi} = 0, \quad \left(k_i = \frac{\mu_i V_0}{P_a R_1} \right), \quad (11)$$

при следующих граничных условиях.

На шипе ($\zeta = 0$):

$$\tilde{V}_{\phi}^{(1)} \Big|_{\zeta=0} = \frac{\omega_1 R_1}{V_0} = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2}, \quad \tilde{V}_r^{(1)} \Big|_{\zeta=0} = 0, \quad (12)$$

На втулке ($\zeta = H_0$):

$$\tilde{V}_\varphi^{(2)}|_{\zeta=H_0} = \frac{\omega_2 R_2}{V_0} = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2}, \quad \tilde{V}_r^{(2)}|_{\zeta=H_0} = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \frac{\partial H_0}{\partial \varphi}, \quad (13)$$

На линии раздела ($\zeta = \zeta_a$):

$$\tilde{V}_\varphi^{(1)}|_{\zeta=\zeta_a} = \tilde{V}_\varphi^{(2)}|_{\zeta=\zeta_a} = \tilde{V}_a, \quad \tilde{V}_r^{(i)}|_{\zeta=\zeta_a} = \tilde{V}_\varphi^{(i)} \frac{\partial \zeta_a}{\partial \varphi} \Big|_{\zeta=\zeta_a}, \quad (14)$$

$$\tilde{P}^{(1)}|_{\zeta=\zeta_a} = \tilde{P}^{(2)}|_{\zeta=\zeta_a}, \quad \mu_1 \frac{\partial \tilde{V}_\varphi^{(1)}}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\zeta_a} = \mu_2 \frac{\partial \tilde{V}_\varphi^{(2)}}{\partial \zeta} \Big|_{\zeta=\zeta_a}. \quad (15)$$

Здесь $\tilde{V}_a$ – неизвестная безразмерная скорость.

С учетом, что $\tilde{P}^{(i)}$ не зависит от ζ (11), первое уравнение в (11) является обыкновенным дифференциальным уравнением по ζ . Можно выписать его решение, удовлетворяющее условиям (12), (13) и (14):

$$\tilde{V}_\varphi^{(1)} = \frac{1}{2k_1} \frac{\partial \tilde{P}^{(1)}}{\partial \varphi} \zeta (\zeta - \zeta_a) + \frac{\omega_1 (\zeta_a - \zeta)}{\zeta_a (\omega_1 + \omega_2)} + \frac{\tilde{V}_a \zeta}{\zeta_a}, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \tilde{V}_\varphi^{(2)} &= \frac{1}{2k_2} \frac{\partial \tilde{P}^{(2)}}{\partial \varphi} (H_0 - \zeta) (\zeta_a - \zeta) + \\ &+ \frac{\omega_2 (\zeta - \zeta_a)}{(\omega_1 + \omega_2) (H_0 - \zeta_a)} + \frac{\tilde{V}_a (H_0 - \zeta)}{H_0 - \zeta_a}. \end{aligned} \quad (17)$$

Далее интегрируем уравнение неразрывности, третье в (11), по ζ от 0 до ζ_a и от ζ_a до H_0 . Получаем

$$\begin{aligned} &\int_0^{\zeta_a} \frac{\partial (\tilde{\rho}_1 \tilde{V}_r^{(1)})}{\partial \zeta} d\zeta + \int_0^{\zeta_a} \frac{\partial (\tilde{\rho}_1 \tilde{V}_\varphi^{(1)})}{\partial \varphi} d\zeta = \\ &= \tilde{V}_r^{(1)} \tilde{\rho}_1 \Big|_{\zeta=\zeta_a} - \tilde{V}_r^{(1)} \tilde{\rho}_1 \Big|_{\zeta=0} - \tilde{V}_\varphi^{(1)} \tilde{\rho}_1 \Big|_{\zeta=\zeta_a} \frac{\partial \zeta_a}{\partial \varphi} + \\ &+ \frac{\partial}{\partial \varphi} \int_0^{\zeta_a} \tilde{V}_\varphi^{(1)} \tilde{\rho}_1 d\zeta = 0. \end{aligned}$$

С учетом (12–14)

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \int_0^{\zeta_a} \tilde{V}_\varphi^{(1)} \tilde{\rho}_1 d\zeta = 0; \quad \int_0^{\zeta_a} \tilde{V}_\varphi^{(1)} \tilde{\rho}_1 d\zeta = \text{const}. \quad (18)$$

И аналогично (после интегрирования от ζ_a до H_0) получаем

$$\begin{aligned} &\tilde{V}_r^{(2)}|_{\zeta=H_0} - \tilde{V}_r^{(2)}|_{\zeta=\zeta_a} + \tilde{V}_\varphi^{(2)}|_{\zeta=\zeta_a} \times \\ &\times \frac{\partial \zeta_a}{\partial \varphi} - \tilde{V}_\varphi^{(2)}|_{\zeta=H_0} \cdot \frac{\partial H_0}{\partial \varphi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} \int_{\zeta_a}^{H_0} \tilde{V}_\varphi^{(2)} d\zeta = 0 \end{aligned}$$

и с учетом (13), (14) и постоянства плотности во втором слое

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \int_{\zeta_a}^{H_0} \tilde{V}_\varphi^{(2)} d\zeta = 0; \quad \int_{\zeta_a}^{H_0} \tilde{V}_\varphi^{(2)} d\zeta = \text{const}. \quad (19)$$

Подставляем найденные выражения для $\tilde{V}_\varphi^{(1)}$ и $\tilde{V}_\varphi^{(2)}$ в (18), (19) и после интегрирования получаем

$$-\frac{1}{12k_1} \frac{\partial \tilde{P}^{(1)}}{\partial \varphi} \zeta_a^3 + \frac{\omega_1 \zeta_a}{2(\omega_1 + \omega_2)} + \frac{\tilde{V}_a \zeta_a}{2} = \frac{C_1}{\tilde{\rho}_1}, \quad (20)$$

$$\begin{aligned} &-\frac{1}{12k_2} \frac{\partial \tilde{P}^{(2)}}{\partial \varphi} (H_0 - \zeta_a)^3 + \frac{\omega_2 (H_0 - \zeta_a)}{2(\omega_1 + \omega_2)} + \\ &+ \frac{\tilde{V}_a (H_0 - \zeta_a)}{2} = C_2. \end{aligned} \quad (21)$$

Далее удовлетворяем второму условию (15), учитывая (16, 17):

$$\begin{aligned} &\mu_1 \left(\frac{1}{2k_1} \frac{\partial \tilde{P}^{(1)}}{\partial \varphi} \zeta_a - \frac{\omega_1}{\zeta_a (\omega_1 + \omega_2)} + \frac{\tilde{V}_a}{\zeta_a} \right) = \\ &= \mu_2 \left(-\frac{1}{2k_2} \frac{\partial \tilde{P}^{(2)}}{\partial \varphi} (H_0 - \zeta_a) + \right. \\ &\left. + \frac{\omega_2}{(H_0 - \zeta_a) (\omega_1 + \omega_2)} - \frac{\tilde{V}_a}{H_0 - \zeta_a} \right). \end{aligned} \quad (22)$$

Так как $\tilde{P}^{(1)}$ и $\tilde{P}^{(2)}$ зависят только от φ и на линии раздела совпадают, то функцию давления можно искать в виде одной функции $\tilde{P}(\varphi)$, не зависящей от номера среды. В уравнениях (20)–(22) проведем следующие замены:

$$\tilde{P}^{(1)} = \tilde{P}^{(2)} = \tilde{P} = \frac{h^2}{R_1^2} P, \quad \zeta_a = \delta H_0, \quad \tilde{V}_a = V_a,$$

$$V_0 = (\omega_1 + \omega_2) R_1, \quad \Omega_i = \frac{\omega_i R_i}{V_0}, \quad \gamma_i = \frac{6\mu_i R_i V_0}{P_a h^2}.$$

Система уравнений (20), (21), (22) с учетом уравнения состояния (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} &\frac{dP(\varphi)}{d\varphi} = \frac{\gamma_1}{\delta^2(\varphi) H_0^2(\varphi)} \times \\ &\times \left(V_a(\varphi) + \Omega_1 + \frac{C_1}{P^\kappa(\varphi) \delta(\varphi) H_0(\varphi)} \right), \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} &\frac{dP(\varphi)}{d\varphi} = \frac{\gamma_2}{(1 - \delta(\varphi))^2 H_0^2(\varphi)} \times \\ &\times \left(V_a(\varphi) + \Omega_2 + \frac{C_2}{(1 - \delta(\varphi)) H_0(\varphi)} \right), \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} &3 \frac{dP(\varphi)}{d\varphi} = \frac{\gamma_1}{\delta(\varphi) H_0^2(\varphi)} (\Omega_1 - V_a(\varphi)) + \\ &+ \frac{\gamma_2}{(1 - \delta(\varphi)) H_0^2(\varphi)} (\Omega_2 - V_a(\varphi)). \end{aligned} \quad (25)$$

Здесь C_1 и C_2 пока неизвестные постоянные.

Уравнение (23) является аналогом уравнения Рейнольдса для газового подшипника, у которого газовый слой находится между шипом и линией раздела (от 0 до $\delta(\varphi) H_0(\varphi)$). Уравнение (24) является уравнением Рейнольдса для жидкостного подшипника, у которого жидкостный слой расположен между линией раздела и втулкой (от $\delta(\varphi) H_0(\varphi)$ до $H_0(\varphi)$). Уравнение (25) характеризует поле скоростей и тензоры напряжений при переходе через неизвестную границу раздела сред.

Выведем дополнительные условия. Первое условие – периодичность давления

$$P(\varphi + 2\pi) = P(\varphi). \quad (26)$$

Для получения других условий можно считать, что масса газа и жидкости, содержащихся в смазочном слое,

остается постоянной. В случае газового слоя масса его равна массе покоя, если давление в газовом слое можно считать постоянным и равным атмосферному давлению P_a , что характерно для полноохватывающих подшипников бесконечной длины, когда смазочный слой полностью изолирован от внешней среды [1].

Пусть m_i – масса i -го слоя, M_i – масса смазочного слоя полностью заполненного i -й средой. Найдем массу газового слоя m_1 с учетом уравнения состояния (1) и массу газа M_1 для случая газового подшипника в состоянии покоя:

$$\begin{aligned} m_1 &= \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_1+h\zeta_a} \rho r dr = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{R_1}^{R_1+h\zeta_a} \left(\frac{P_a P(\varphi)}{C} \right)^{\frac{1}{\kappa}} r dr \approx \\ &\approx h R_1 \left(\frac{P_a}{C} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \int_0^{2\pi} P^{\frac{1}{\kappa}}(\varphi) \zeta_a(\varphi) d\varphi, \\ M_1 &= \pi (R_2^2 - R_1^2) \rho_a \approx 2\pi R_1 h \rho_a. \end{aligned}$$

Учитывая, что $\rho_a = \left(\frac{P_a}{C} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$ (из уравнения состояния), получаем

$$\begin{aligned} \frac{m_1}{M_1} &= \frac{h R_1 \left(\frac{P_a}{C} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \int_0^{2\pi} P^{\frac{1}{\kappa}}(\varphi) \zeta_a d\varphi}{2\pi R_1 h \rho_a} = \frac{\int_0^{2\pi} P^{\frac{1}{\kappa}}(\varphi) \zeta_a d\varphi}{2\pi} = \\ &= \frac{\rho_a S_1}{\rho_a S} = \frac{S_1}{S} = k \quad (0 < k < 1), \end{aligned}$$

где S_1 – площадь газового слоя; S – площадь всего смазочного слоя. Отсюда

$$\int_0^{2\pi} P^{\frac{1}{\kappa}}(\varphi) \zeta_a(\varphi) d\varphi = \int_0^{2\pi} P^{\frac{1}{\kappa}}(\varphi) \delta(\varphi) H_0(\varphi) d\varphi = 2\pi k. \quad (27)$$

Поступая аналогично для жидкостного слоя, получаем

$$\int_0^{2\pi} \zeta_a(\varphi) d\varphi = \int_0^{2\pi} \delta(\varphi) H_0(\varphi) d\varphi = 2\pi k. \quad (28)$$

Таким образом, приходим к следующей задаче. Требуется найти решение системы уравнений (23)–(25) относительно трех неизвестных функций $P(\varphi)$, $V_a(\varphi)$, $\delta(\varphi)$ и двух констант C_1 и C_2 , при дополнительных условиях (26)–(28).

Решение задачи разложением в ряды по относительному эксцентриситету. Рассматривается система (23)–(28). Слабое влияние температуры на вязкость газов дает возможность считать, что процесс, протекающий в смазочном пространстве подшипника, изотермический ($\kappa = 1$).

В предположении малого относительного эксцентриситета ε решения ищем в виде степенных рядов по ε :

$$\begin{aligned} \delta(\varphi) &= \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n \delta_n(\varphi), \quad P(\varphi) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n P_n(\varphi), \\ V_a(\varphi) &= \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n V_{an}(\varphi), \quad C_1 = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n C_{1n}, \quad C_2 = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n C_{2n}. \quad (29) \end{aligned}$$

Запишем дополнительные условия на $\delta_n(\varphi)$, $P_n(\varphi)$, $V_{an}(\varphi)$, C_{1n} , C_{2n} .

$$\begin{aligned} P_n(\varphi) &= P_n(\varphi + 2\pi), \\ \int_0^{2\pi} \delta H_0 d\varphi &= \int_0^{2\pi} \delta(1 + \varepsilon \cos \varphi) d\varphi = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \varepsilon^n = \\ &= 2\pi k, \quad a_0 = 2\pi k, \quad a_n = 0, \quad \text{при } n \geq 1, \quad (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} P \delta H_0 d\varphi &= \int_0^{2\pi} P \delta(1 + \varepsilon \cos \varphi) d\varphi = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \varepsilon^n = \\ &= 2\pi k, \quad b_0 = 2\pi k, \quad b_n = 0, \quad \text{при } n \geq 1. \quad (31) \end{aligned}$$

Найдем нулевое и первое приближения решения. В нулевом приближении система (23)–(25) и дополнительные условия (26)–(28) примут следующий вид (достаточно в системе положить $\varepsilon = 0$):

$$\begin{aligned} \frac{dP_0}{d\varphi} &= \frac{\gamma_1}{\delta_0^2} \left(V_{a0} + \Omega_1 + \frac{C_{10}}{P_0 \delta_0} \right), \\ \frac{dP_0}{d\varphi} &= \frac{\gamma_2}{(1 - \delta_0)^2} \left(V_{a0} + \Omega_2 + \frac{C_{20}}{(1 - \delta_0)} \right), \quad (32) \end{aligned}$$

$$3 \frac{dP_0}{d\varphi} = \frac{\gamma_1}{\delta_0} (\Omega_1 - V_{a0}) + \frac{\gamma_2}{(1 - \delta_0)} (\Omega_2 - V_{a0}), \quad (33)$$

$$P_0(\varphi + 2\pi) = P_0(\varphi), \quad \int_0^{2\pi} \delta_0 d\varphi = \int_0^{2\pi} P_0 \delta_0 d\varphi = 2\pi k. \quad (34)$$

Нулевое приближение, при $\varepsilon = 0$, соответствует течению между двумя концентрическими окружностями. Исходя из симметрии заключаем, что δ_0 , V_{a0} не зависят от φ . Тогда (с учетом периодичности)

$$\frac{dP_0}{d\varphi} = C_3, \quad P_0 = C_3 \varphi + C_4,$$

$$C_3 = 0, \quad P_0 = C_4, \quad P_0 \text{ не зависит от } \varphi.$$

Далее из (30), (31) следует, что $\delta_0 = k$, $P_0 = 1$.

Находим V_{a0} , C_{10} , C_{20} . Подставляем найденные $\delta_0 = k$ и $P_0 = 1$ в систему (32), (33). Получаем систему трех линейных уравнений относительно V_{a0} , C_{10} , C_{20} , из которой

$$V_{a0} = \frac{A_2}{A}, \quad C_{10} = -k \frac{B_1}{A}, \quad C_{20} = -(1 - k) \frac{B_2}{A}, \quad (35)$$

$$A = \gamma_1(1 - k) + \gamma_2 k, \quad A_2 = \gamma_1 \Omega_1(1 - k) + \gamma_2 k \Omega_2,$$

$$B_1 = 2\gamma_1 \Omega_1(1 - k) + \gamma_2 k, \quad B_2 = 2\gamma_2 \Omega_2 k + \gamma_1(1 - k).$$

Учитывая нулевое приближение, получаем систему для нахождения первых приближений

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(\varphi)}{d\varphi} &= \frac{\gamma_1}{k^2} \times \\ &\times \left(V_{a1}(\varphi) + \frac{C_{11}}{k} + \frac{B_1}{A} P(\varphi)_1 + \frac{B_1}{kA} \delta_1(\varphi) + \frac{B_1}{A} \cos \varphi \right), \quad (36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(\varphi)}{d\varphi} &= \frac{\gamma_2}{(1 - k)^2} \times \\ &\times \left(V_{a1}(\varphi) + \frac{C_{21}}{1 - k} - \frac{B_2}{A(1 - k)} \delta_1(\varphi) + \frac{B_2}{A} \cos \varphi \right), \quad (37) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3 \frac{dP_1(\varphi)}{d\varphi} &= -\frac{\gamma_1 \delta_1(\varphi)}{k^2} \left(\Omega_1 - \frac{\gamma_1 \Omega_1(1 - k) + \gamma_2 k \Omega_2}{A} \right) + \\ &+ \frac{\gamma_2 \delta_1(\varphi)}{(1 - k)^2} \left(\Omega_2 - \frac{\gamma_1 \Omega_1(1 - k) + \gamma_2 k \Omega_2}{A} \right) - \\ &- \frac{\gamma_1 V_{a1}(\varphi)}{k} - \frac{\gamma_2 V_{a1}(\varphi)}{1 - k}, \quad (38) \end{aligned}$$

$$P_1(\varphi) = P_1(\varphi + 2\pi), \quad \int_0^{2\pi} \delta_1(\varphi) d\varphi = 0, \quad \int_0^{2\pi} P_1(\varphi) d\varphi = 0. \quad (39)$$

Получено явное решение системы

$$P_1(\varphi) = \frac{R}{Q^2 + 1} (\sin \varphi - Q \cos \varphi),$$

$$C_{11} = 0, \quad C_{21} = 0, \quad (40)$$

$$V_{a1}(\varphi) = \frac{R(1-k)(E(1-k)^2 + 3\gamma_2 B_2 k)(\sin \varphi - Q \cos \varphi)}{\gamma_2(Q^2 + 1)(E(1-k) - AB_2)} -$$

$$- \frac{EB_2(1-k) \cos \varphi}{A(E(1-k) - AB_2)}, \quad (41)$$

$$\delta_1(\varphi) = \frac{AR(1-k)^2(3k\gamma_2 + A(1-k))(\sin \varphi - Q \cos \varphi)}{\gamma_2(Q^2 + 1)(E(1-k) - AB_2)} -$$

$$- \frac{AB_2(1-k) \cos \varphi}{E(1-k) - AB_2}, \quad (42)$$

где

$$E = \gamma_1 \gamma_2 (\Omega_2 - \Omega_1), \quad Q = -\frac{\gamma_1 B_1}{\alpha A k^2}, \quad R = -\frac{\beta}{\alpha},$$

$$\alpha = -1 + \frac{\gamma_1(1-k)(E(1-k)^2 + 3\gamma_2 B_2 k)}{\gamma_2(E(1-k) - B_2 A)k^2} +$$

$$+ \frac{\gamma_1 B_1(1-k)(3k\gamma_2 + A(1-k))}{\gamma_2(E(1-k) - B_2 A)k^3},$$

$$\beta = -\frac{\gamma_1 E B_2(1-k)}{A(E(1-k) - AB_2)k^2} -$$

$$- \frac{\gamma_1 B_1 B_2(1-k)}{(E(1-k) - AB_2)k^3} + \frac{\gamma_1 B_1}{A k^2}.$$

Таким образом, в линейном приближении

$$\delta(\varphi) \approx \delta_0 + \varepsilon \delta_1(\varphi), \quad V_a(\varphi) \approx V_{a0} + \varepsilon V_{a1}(\varphi),$$

$$P(\varphi) \approx P_0 + \varepsilon P_1(\varphi), \quad C_1 \approx C_{10}, \quad C_2 \approx C_{20}.$$

Используем найденные формулы распределения давления для определения интегральных характеристик газожидкостного подшипника.

Для проекций главного вектора сил давления на линию центров и направление, ей перпендикулярное, после интегрирования получаем

$$F_x = -R_1 P_a \int_0^{2\pi} P \cos \varphi d\varphi = P_a \frac{R_1 \varepsilon R Q}{Q^2 + 1} \pi, \quad (43)$$

$$F_y = -R_1 P_a \int_0^{2\pi} P \sin \varphi d\varphi = -P_a \frac{R_1 \varepsilon R}{Q^2 + 1} \pi. \quad (44)$$

Тогда удельная нагрузка определится формулой

$$S = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{2P_a R_1} = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon R \pi}{\sqrt{Q^2 + 1}}. \quad (45)$$

Полагая в выражениях для R и Q (45) $k = 1$, что соответствует чисто газовому подшипнику, получим известную формулу для удельной нагрузки газового подшипника [1]

$$S = \frac{F}{2P_a R_1} = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon \gamma_1 \pi}{\sqrt{\gamma_1^2 + 1}}.$$

Для удельных моментов трения S_{mi} на шипе и втулке также получены явные формулы:

$$S_{m1} = \frac{1}{2P_a} \int_0^{2\pi} \tau_{\omega}^{(1)} d\varphi = \frac{1}{2P_a} \times$$

$$\times \int_0^{2\pi} \mu_1 \omega_0 \frac{R_1}{h} \frac{\partial \tilde{V}_{\varphi}^{(1)}}{\partial \zeta} \bigg|_{\zeta=0} d\varphi = \frac{\mu_1 \omega_0 R_1 (V_{a0} - \Omega_1)}{P_a h k} \pi,$$

$$S_{m2} = \frac{1}{2P_a} \int_0^{2\pi} \tau_{\omega}^{(2)} d\varphi = \frac{1}{2P_a} \times$$

$$\times \int_0^{2\pi} \mu_2 \omega_0 \frac{R_1}{h} \frac{\partial \tilde{V}_{\varphi}^{(2)}}{\partial \zeta} \bigg|_{\zeta=H_0} d\varphi = \frac{\mu_2 \omega_0 R_1 (\Omega_2 - V_{a0})}{P_a h (1-k)} \pi.$$

Отношение подъемной силы комбинированного подшипника F к подъемной силе газового подшипника F_r в зависимости от k при следующих значениях: $\omega_1 = 260 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 0 \text{ c}^{-1}$ (втулка неподвижна), $R_1 = 3,4926 \text{ см}$, $R_2 = 3,5028 \text{ см}$, $h = R_2 - R_1 = 102 \text{ мкм}$, $\mu_1 = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}$, $\mu_2 = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ кгс} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}$ показано на рис. 2. При любом $0 < k < 1$ отношение подъемных сил больше единицы, причем при увеличении k оно уменьшается и стремится к единице. Это связано с увеличением доли газа и уменьшением доли жидкой смазки в смазочном пространстве.

Зависимость толщины несущего газового смазочного слоя газожидкостного подшипника от подъемной силы при тех же значениях параметров, что и на рис. 2, и $k = 0,8$ показана на рис. 3. Экспериментальные данные представлены точками, теоретические – прямой линией.

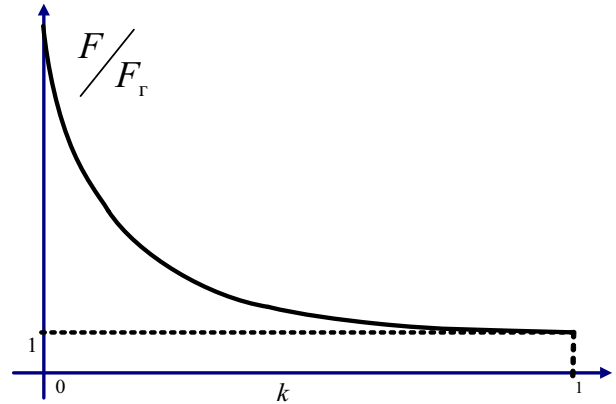


Рис. 2

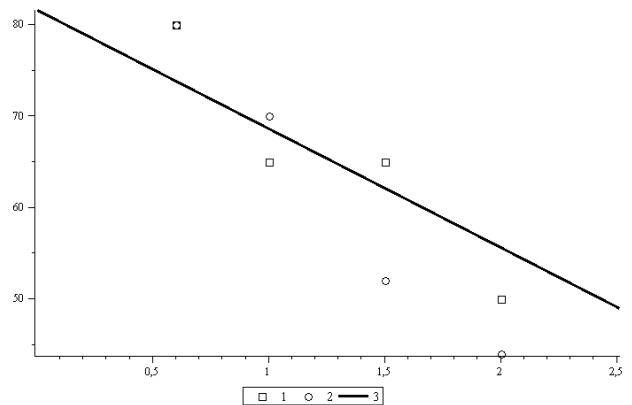


Рис. 3

Таким образом, нами построена математическая модель газожидкостного подшипника, обобщающая модели отдельно жидкостного и отдельно газового подшипника. В линейном приближении по относительному эксцентриситету получено решение задачи и выведены формулы основных числовых характеристик (удельной нагрузки, удельных моментов трения на шипе и втулке). Проведено сравнение полученных числовых характеристик рассматриваемой модели с экспериментальными данными действующего газожидкостного подшипника. Результаты показали достаточную их близость как в количественном, так и в качественном отношении.

Библиографические ссылки

1. Константиnescу В. Н. Газовая смазка. М. : Машиностроение, 1968.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М. : Наука, 1973.
3. Пухначев В. В. Движение вязкой жидкости со свободными границами / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 1989.
4. Андреев В. К., Гапоненко Ю. А. Математическое моделирование конвективных течений / Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 2006.

I. I. Wainshtein, P. S. Litvinov

MATHEMATICAL MODEL OF A BEARING LAYER OF THE GAS-LIQUID BEARING OF SLIDING

In work the mathematical model of a bearing layer of the gas-liquid bearing of sliding of infinite length is constructed. In linear approach on the relative eccentricity formulas for pressure, speeds, lines of section of gas blankets and a liquid, specific elevating force and the specific moments of a friction on a thorn and the plug are received.

Keywords: the two-layer stream, the combined bearing of sliding.

© Вайнштейн И. И., Литвинов П. С., 2011

УДК 004.047:004.6

А. А. Евсюков

ДИНАМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СЛОЕВ В ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ*

Предложены алгоритмы динамического формирования картографических слоев на основе содержимого топографических слоев карты и многомерных данных OLAP-системы, результатов логического вывода экспертной системы или модулей расчетных методик. Для формирования новых слоев могут быть использованы таблицы агрегатов.

Ключевые слова: географические информационные системы, картографическая привязка многомерных данных, динамическое формирование картографических слоев.

Картографические слои являются основными элементами организации и отображения информации в ГИС. Слои определяют способы отображения наборов географических объектов на карте. При использовании тематических карт в информационно-аналитических системах информация об объектах слоя должна быть предварительно сформирована и сохранена в отдельных файлах. Пространственная информация (информация о расположении объектов) хранится в векторных файлах (с расширениями .shp, .mif и пр.), атрибутивная информация – в табличных файлах (с расширениями .dbf, .mid и пр.) [1; 2]. Данный вид представления картографических слоев назовем статическим. При использовании только ста-

тического представления в информационно-аналитической системе невозможно сформировать наполнение картографических слоев, изменять географическое положение и содержание объектов на карте. Для внесения изменений о территориальных объектах необходимо редактировать статические картографические слои, используя инструментарий ГИС.

При гео моделировании сложных процессов, включая картографическое представление результатов логического вывода экспертной системы, OLAP-анализа или расчетной методики, помимо использования статических картографических слоев предлагается использовать методы динамического формирования объектов слоя [3].

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 02.740.11.0621) и гранта ККФПН и НТД (доп. согл. № 01/10 от 17 мая 2010 г.).

Такой вид слоев соответствует представлению на карте объектов, существование, местоположение и форма которых определяется в зависимости от данных, принятых из управляющей системы, будь то экспертная или OLAP-система. В качестве примера можно привести формирование слоя, отображающего зоны заражения местности в результате химической аварии (рис. 1). Прозрачный площадной слой, соответствующий зонам заражения, формируется на карте города, состоящей из статических слоев, таких как «Реки», «Дома» и пр. Зоны заражения отображаются в виде секторов окружности, такой вид соответствует представлению зон химической аварии, рассчитанных по стандартной методике РД 52.04.253-90 [4].

Для реализации оперативной работы с изменяющимися территориально распределенными объектами разработаны методы динамического формирования картографических слоев, в управляющую систему предлагается добавить инструментарий, осуществляющий возможность настройки динамического формирования слоев средствами ГИС для дальнейшего гео моделирования результатов логического вывода экспертной системы, OLAP-анализа или модулей расчетных методик. При этом методы тематического картографирования с целью гео моделирования сложных процессов могут применяться для формирования легенды не только статических, но и динамически сформированных картографических слоев.

Наполнение формируемого слоя, его пространственная и атрибутивная информация, создается на основе содержания выбранной таблицы источника данных управляющей системы. В частности, выбранной таблицей может являться таблица агрегатов, содержащая агрегирован-

ные данные, прошедшие предварительную обработку. Это позволяет сформировать новый слой не только на основе собранных статистических данных, но и на основе аналитических результатов. Использование таблиц агрегатов для динамического формирования картографических слоев является отличительной особенностью средств оперативного гео моделирования в информационно-аналитической системе по сравнению с традиционными геоинформационными системами. Обозначим выбранную таблицу U , элементами которой являются u_{ij} , здесь $i = \overline{1, m}$ – индекс строки таблицы; $j = \overline{1, n}$ – индекс столбца таблицы (поля); m, n – количество строк, столбцов соответственно.

Для решения задачи динамического формирования новых картографических слоев разработаны алгоритмы получения пространственной информации, позволяющие найти координаты точек для построения объектов нового слоя. Если географические координаты содержатся непосредственно в таблице U , то их можно использовать для формирования нового слоя. При отсутствии необходимой информации о местоположении объектов в таблицах источников данных управляющей системы предлагается формировать координаты точек нового слоя на основе картографической привязки к слоям из топографической основы карты. Для этого необходимо установить соответствие между полем таблицы U и полем атрибутивной таблицы A^* слоя L^* карты M . Для совпадающих значений объект нового слоя будет формироваться, используя координаты соответствующего ему объекта статического слоя. Атрибутивной информацией слоя является таблица, полученная из строк таблицы U , по которым сформированы объекты нового слоя. Отметим, для

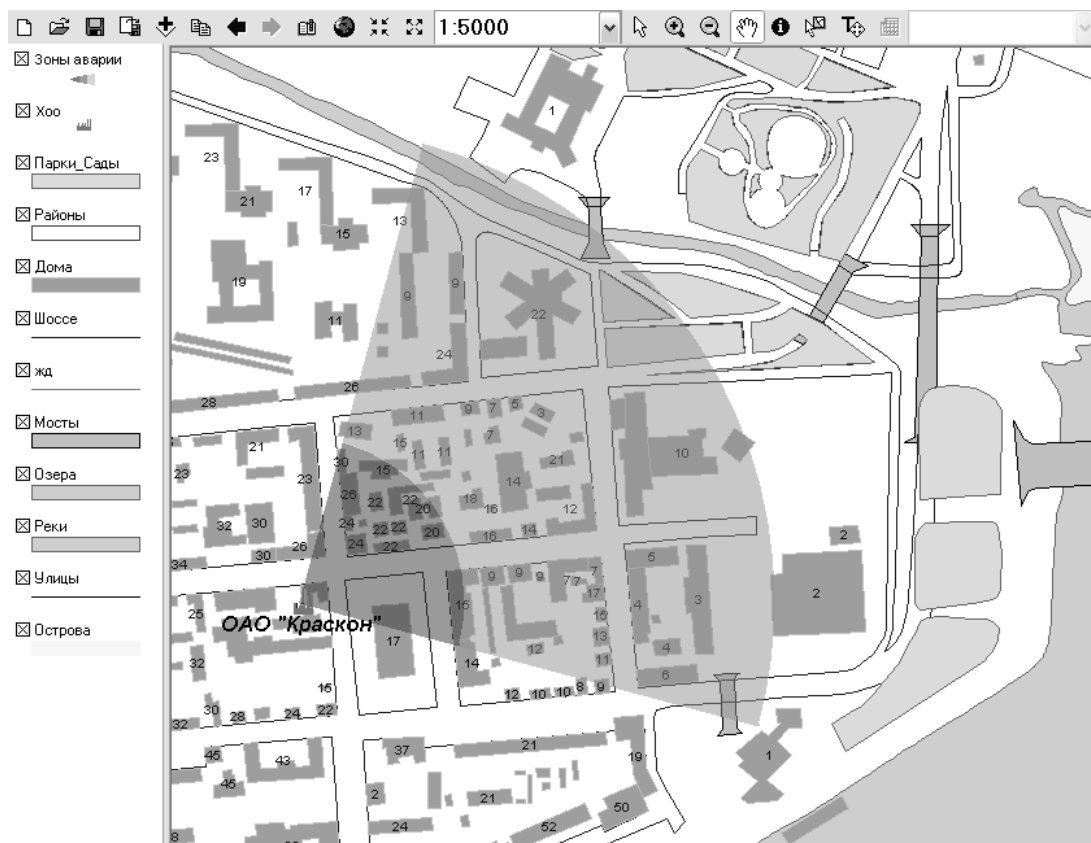


Рис. 1. Отображение зон заражения при химической аварии

геомоделирования информации из экспертной или OLAP-системы можно динамически сформировать и визуализировать несколько картографических слоев.

Настройки по формированию нового слоя должны предшествовать установлению картографической привязки географического измерения гиперкуба данных со слоями карты. Данные настройки включают в себя определение типа слоя (формировать точечный, линейный или площадной слой), указание полей таблицы U и полей атрибутивной таблицы A^* статического слоя L^* .

Динамически сформированный слой является набором векторных данных, размещенных в оперативной памяти. Сформированный временный слой, соответствующий текущим значениям оперативных данных, может быть сохранен в картографическом формате, поддерживаемом ГИС. Необходимость в сохранении слоя возникает при формировании линейного или площадного слоя, объекты которого могут состоять из десятков, сотен, а иногда и тысяч вершин.

ГИС позволяет производить с динамически сформированными слоями те же операции, что и со статическими слоями, включая применение методов тематического картографирования. Это позволяет визуализировать на карте результаты логического вывода экспертной системы, OLAP-анализа или модуля расчетной методики, разбив динамически сформированный слой на классы по географическому измерению гиперкуба данных.

Поскольку процесс формирования слоя автоматизирован, временные затраты на составление слоя значительно сокращаются по сравнению с «ручным» редактированием слоя в ГИС-среде. Необходимо только указать пространственные координаты и ввести атрибутивную информацию, соответствующую добавляемым объектам. Можно построить точечный, линейный или площадной слой на основе значений координат из таблицы U источника данных управляющей системы или соответствия записей таблицы U объектам точечного или линейного слоя топографической основы карты M .

Алгоритмы формирования картографических слоев на основе таблицы источника данных. Для формирования точечного слоя в таблице источника данных OLAP-системы U указываются два поля, содержащие долготу и широту. Обозначим индексы полей, где хранятся долгота и широта, x и y соответственно. Каждой i -й записи таблицы U , $i = \overline{1, m}$, с непустыми значениями координат будет соответствовать точечный объект с координатами u_{ix} и u_{iy} (рис. 2).

Для пересчета координат возможен выбор картографической проекции. При помощи инструментов ГИС можно редактировать новый слой: изменять местоположение точечного объекта, удалять или добавлять новый объект. При модификации слоя внутри ГИС осуществляется обратная связь: автоматически происходит редактирование таблицы источника данных OLAP-системы, по которой данный слой был сформирован.

В качестве примера применения данного метода приведем формирование точечного слоя, отображающего метеостанции на территории Красноярского края. Точно известны координаты всех метеостанций, при этом часть из них может быть закрыта, или могут появиться новые,

чем объясняется формирование слоя динамическим методом вместо использования статического слоя.

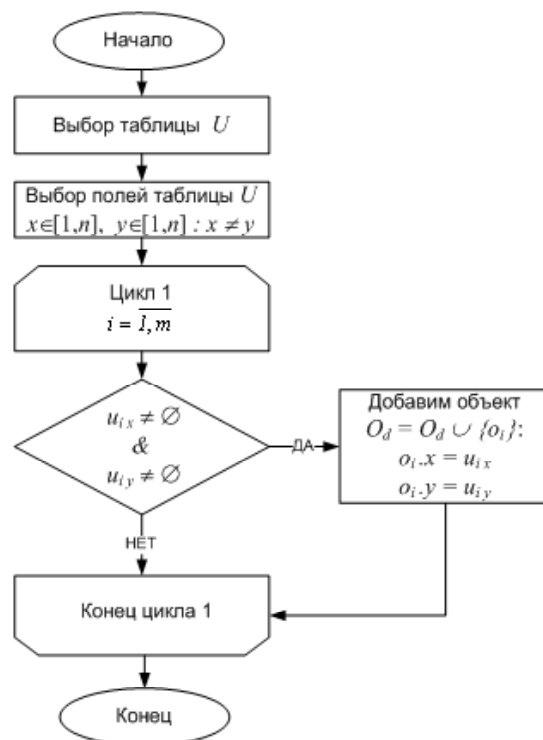


Рис. 2. Алгоритм формирования точечного слоя на основе координат из таблицы источника данных

Для формирования линейного слоя необходимо выполнить те же настройки, что и при формировании точечного слоя. По координатам из таблицы U формируется набор точек, по которым строится трек – ломаная, соединяющая точки в порядке их перечисления. Сформированный линейный слой состоит из одного объекта (рис. 3).

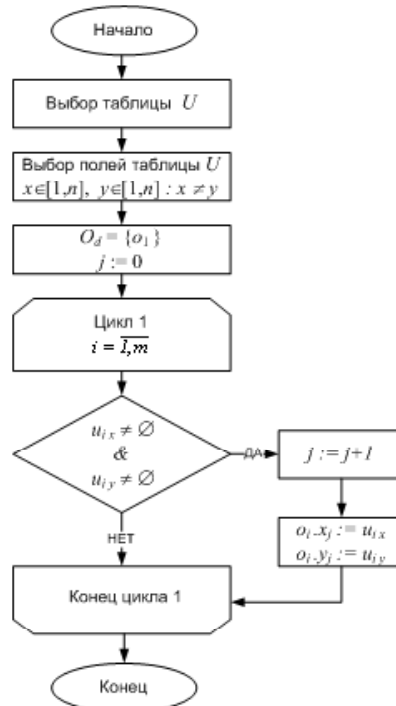


Рис. 3. Алгоритм формирования линейного слоя на основе координат таблицы источника данных

Алгоритмы формирования картографических слоев с применением топографической основы. Алгоритмы применяются, если можно выполнить картографическую привязку к объектам существующих статических слоев – например, если необходимо сформировать слой медицинских учреждений для заданной территории, для которой построен слой населенных пунктов и существует информация о принадлежности медицинских учреждений населенным пунктам (рис. 4).

При формировании нового слоя L_d используются координаты объектов слоя топографической основы L^* . В таблице U выбирается поле привязки под индексом x . В атрибутивной таблице A^* слоя L^* выбирается поле привязки под индексом y . Если i -му элементу из поля привязки u_{ix} таблицы U , $i = 1, m$, будет соответствовать j -й элемент из поля привязки a_{jy} атрибутивной таблицы A^* , $j = 1, g^*$, то строится новый точечный объект в слое L_d наследующий координаты объекта o_j слоя L^* .

В случае соответствия нескольких записей из таблицы U одному точечному объекту слоя L^* , объекты нового слоя наследуют общую пару координат. При визуализации возникает проблема наложения условных обозначений нескольких объектов. Разрешить проблему наложения возможно отображением условных отображений в ряд (рис. 5). Для этого при формировании объектов нового слоя необходимо сохранять для каждого объекта порядковый номер, равный количеству уже сформированных объектов, соответствующих идентичному объекту слоя L^* .

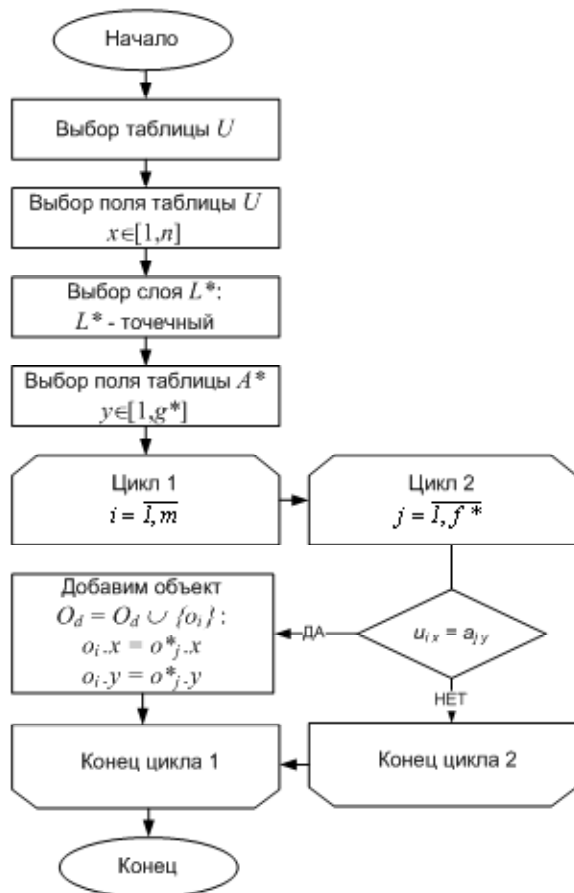


Рис. 4. Алгоритм формирования точечного слоя на основе координат объектов точечного слоя топографической основы

Таким образом, для указания местонахождения объектов слоя осуществлена привязка каждого медицинского учреждения к населенному пункту. Для организации привязки в таблице-перечне всех медицинских учреждений отведено поле со значениями идентификаторов населенных пунктов размещения медицинских учреждений. Слой «Населенные пункты» является статическим. Медицинские учреждения могут изменять свой статус, появляться новые или закрываться старые. Объекты слоя медицинских учреждений наследуют координаты соответствующих им населенных пунктов. В результате наследования динамически формируется слой медицинских учреждений края.



Рис. 5. Отображение точечных объектов в ряд

Рассмотрим алгоритм формирования точечного слоя с использованием координат объектов линейного слоя топографической основы (рис. 6). Формирование пространственной информации происходит путем нахождения координат точек, лежащих на заданном объекте линейного слоя (ломаной) на определенном расстоянии от начальной точки объекта. Значения расстояний определяются значениями поля под индексом x таблицы U .

В таблице U выбирается поле привязки под индексом x . В линейном слое L^* фиксируется объект o^* , по которому будет идти построение точечного слоя. Если i -й элемент u_{ix} таблицы U , $i = 1, m$, является непустым, то строится новый точечный объект в новом слое, находящийся на расстоянии u_{ix} от начальной точки объекта o^* слоя L^* . Для определения координат точки используются операторы R_x, R_y , которые возвращают координаты точки, находящейся на заданном расстоянии от начальной точки линейного объекта.

Рассмотрим пример: пусть необходимо сформировать точечный слой, отображающий динамику движения кромки ледостава на реке Енисей по датам, на основе данных таблицы (рис. 7). В поле Distance хранятся расстояния отметок кромки льда от начальной отметки (Красноярская ГЭС) [5].

В результате формирования точечного слоя (рис. 8), каждой точке будет соответствовать временная отметка кромки ледостава. Для формирования нового слоя используется объект «Енисей» линейного слоя «Реки». Слой «Водоемы» является площадным и, следовательно, не может быть использован для динамического формирования нового слоя рассматриваемым методом. В качестве подписей отметок кромки ледостава используется

поле Date2 таблицы U , которая является образом атрибутивной таблицы динамически сформированного слоя.

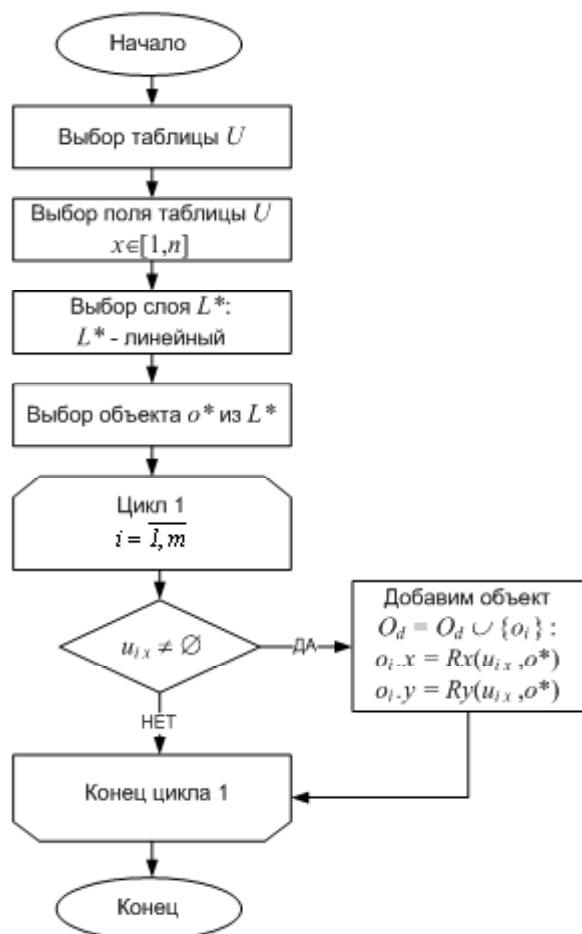


Рис. 6. Алгоритм формирования точечного слоя на основе координат объектов линейного слоя топографической основы

ID	Date2	Distance	Descript
285	03.30.06	342	58 км выше г.Лесосибирска
286	03.31.06	345	55 км выше г.Лесосибирска
287	04.01.06	350	50 км выше г.Лесосибирска
288	04.02.06	352	48 км выше г.Лесосибирска
289	04.03.06	370	30 км выше г.Лесосибирска
290	04.04.06	372	28 км выше г.Лесосибирска
291	04.05.06	373	27 км выше г.Лесосибирска
292	04.06.06	385	15 км выше г.Лесосибирска

Рис. 7. Фрагмент таблицы из источника данных OLAP-системы

Алгоритм формирования точечного слоя с использованием координат объектов линейного слоя топографической основы применим для построения временных отметок нахождения в пути при известном пройденном расстоянии от некоторой начальной точки.

Рассмотрим алгоритм формирования площадного слоя с использованием координат объектов точечного слоя топографической основы. Для построения алгоритма предлагается формировать площадной слой из геометрических фигур (например окружностей, секторов окружностей), геометрические параметры которых задаются в таблице U , а местоположение определяется привязкой к объектам точечного слоя топографической основы L^* .

Картографический пример формирования площадного слоя был приведен выше (см. рис. 1).

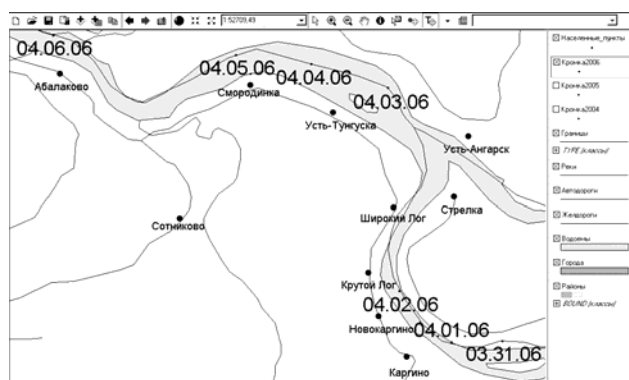


Рис. 8. Отображение динамики кромки ледостава на реке Енисей за 2006 г.

В атрибутивной таблице A^* слоя L^* выбирается поле привязки под индексом y . В таблице U выбирается поле привязки под индексом x . Далее необходимо задать геометрические параметры площадных объектов: α, β – угол сектора и его направление (в градусах), соответственно, при $\alpha = 0^\circ$ или $\alpha = 360^\circ$ строится окружность. В таблице U выбирается поле под индексом r , в котором хранятся радиусы объектов. Если i -му элементу из поля привязки u_{ix} таблицы U , $i = \overline{1, m}$, будет соответствовать j -й элемент из поля привязки a_{jy} атрибутивной таблицы A^* , $j = \overline{1, g^*}$, тогда строится новый площадной объект слоя L_d , центр которого определяется координатами точечного объекта o_j слоя L^* , а радиус определяется значением поля u_{ix} . При необходимости можно заново указать поле, содержащее радиус, и построить площадные объекты с центрами в тех точках и теми же параметрами α и β . В примере, приведенном выше, из точечного объекта построено два сектора разных радиусов, соответствующих площади заражения первичным и вторичным облаками, возникшими в результате химической аварии.

Итак, в работе предложены методы динамического формирования картографических слоев на основе содержимого топографических картографических слоев и многомерных данных OLAP-системы, результатов логического вывода экспертной системы или модулей расчетных методик. Для формирования новых слоев могут быть использованы таблицы агрегатов, содержащие агрегированные данные, прошедшие предварительную обработку. Это позволяет сформировать новый слой не только на основе собранных статистических данных, но и на основе аналитических результатов. Использование таблиц агрегатов для динамического формирования картографических слоев является отличительной особенностью средств оперативного гео моделирования, взаимодействующих с экспертными или OLAP-системами, по сравнению с традиционными геоинформационными системами. Разработаны алгоритмы формирования точечных, линейных и площадных слоев с использованием значений координат таблицы из источника данных управляющей системы либо соответствия объектам точечного или линейного слоя топографической основы карты.

Библиографические ссылки

1. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии. М. : Финансы и статистика, 1998.
2. Шайтура С. В. Геоинформационные системы и методы их создания. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 1998.
3. Евсюков А. А. Оперативное географическое моделирование в современных информационных системах // Актуальные проблемы анализа и построения информационных систем и процессов : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. (19–25 сент. 2010 г.) ; Юж. федер. ун-т. Таганрог, 2010.
4. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте : РД 52.04.253–90. Л. : Гидрометеоздат, 1991.
5. Евсюков А. А., Ничепорчук В. В., Марков А. А. Использование средств оперативного гео моделирования для мониторинга ЧС на территории Сибирского федерального округа // Гео-Сибирь – 2010. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия : сб. материалов IV Междунар. науч. конгр. (19–29 апреля 2010 г.). Ч. 3 ; Сиб. гос. геодезич. акад. Новосибирск, 2010. С. 132–137.

A. A. Evsyukov

DYNAMIC CARTOGRAPHIC LAYERS GENERATION IN INFORMATIONAL ANALYTICAL SYSTEMS

The author offers dynamic GIS layers generation methods based on topographical map layers and multidimensional OLAP-analysis data, expert systems or computational technique results is offered. The aggregation data are used for dynamic generation of new GIS layers.

Keywords: geographic informational systems, cartographic binding of multidimensional data, dynamic cartographic layers generation.

© Евсюков А. А., 2011

УДК 625.084/085:625.855.3

Р. Т. Емельянов, А. П. Прокопьев, Е. С. Турышева, П. А. Постоев

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Рассматривается разработка нейросетевого контроллера системы управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси. Приводится реализация нейросетевого контроллера в программной системе MATLAB/Simulink и результаты моделирования.

Ключевые слова: управление процессом уплотнения, автоматическое управление, нейронные сети.

Подход к моделированию рабочего процесса уплотнения асфальтобетонной смеси, основанный на идентификации рабочих процессов, позволяет создавать адаптивные динамические модели на основе экспериментальных данных и дает возможность находить и моделировать сложные зависимости между параметрами рабочего процесса (уплотняющим рабочим органом и асфальтобетонной смесью), не обладая полной информацией об устройстве уплотняющего органа, машины и характеристиках среды.

Постановка задачи. Одной из актуальных задач дорожной отрасли является оптимизация рабочего процесса уплотнения асфальтобетонного покрытия, выполняемого рабочими органами асфальтоукладчика. При этом одним из основных показателей рабочего органа и укладчика в целом является степень предварительного уплотнения асфальтобетонной смеси, от которой зависит не только подбор необходимых типов и количества катков для последующей ее укатки, но и технологические

приемы выполнения этой важной и сложной операции [1]. Практика также показала, что чем выше плотность после укладчика, тем ровнее готовое покрытие.

Технологическая настройка асфальтоукладчика связана с обеспечением наиболее высокого качества укладки и предварительного уплотнения слоев асфальтобетонного основания или покрытия и является важным элементом системы управления качеством асфальтобетонных работ на дороге. Такая настройка осуществляется перед началом выполнения рабочих операций и ведется с учетом конструктивных и технологических возможностей и особенностей выбранного укладчика, а также заложенных в проект производства работ (ППР) приемов выполнения и контроля этих операций.

Самыми значимыми и потому непрерывно контролируемыми в системе управления качеством являются пять показателей устраиваемого укладчиком основания или покрытия (еще до начала работы дорожных катков): ширина полосы укладки; поперечный уклон поверхнос-

ти слоя укладки; начальная толщина уложенного слоя; степень предварительного уплотнения слоя сразу за укладчиком; ровность поверхности уложенного слоя [1]. Первые три показателя задаются проектом и строительными нормами и правилами (СНиП) (в нормах отклонения от проекта). Два последних показателя не задаются проектом и не нормируются СНиП, но без знания их начальных значений невозможно управлять процессом укладки и обеспечивать требуемые проектом и СНиП конечные результаты по плотности, толщине слоя и ровности готового основания или покрытия [1].

Системы автоматического управления (САУ), устанавливаемые на асфальтоукладчиках, не имеют подсистем управления процессом уплотнения смеси, а ручная настройка режимных параметров не обеспечивает требуемого коэффициента уплотнения, влияющего на качественные показатели дорожного покрытия. В таких случаях приходится увеличивать количество проходов катка, что ведет к росту расходов на топливо и заработную плату рабочим и, соответственно, себестоимости дорожного строительства.

Разработка нейросетевого контроллера. При всей тщательности выбора начальных режимных параметров предугадать неровности микрорельефа и изменение свойств асфальтобетонной смеси при ее охлаждении очень сложно. Но, используя известные зависимости, можно косвенно оценивать наличие неровностей и плотность основания и, следовательно, прогнозировать ожидаемый коэффициент уплотнения асфальтобетонной смеси.

На основании исследований асфальтоукладчика с перспективным уплотняющим рабочим органом, проведенных в реальных условиях эксплуатации, были получены экспериментальные зависимости, позволяющие создать систему управления процессом уплотнения [2].

На трамбующих брусках асфальтоукладчика были установлены тензодатчики, которые фиксировали изменение усилия на этих брусках в зависимости от частоты трамбования и скорости движения. Также определялся коэффициент уплотнения в зависимости от частоты трамбования и скорости движения асфальтоукладчика. Полученные данные использовались для разработки системы автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком. В качестве основного режимного параметра, обеспечивающего заданные значения степени уплотнения, принята частота вращения эксцентрикового вала привода трамбующих брусков.

Для решения задачи идентификации рабочего процесса по экспериментальным данным в качестве нейронной сети выбрана сеть встречного распространения. Возможности этой сети превосходят возможности однослойных сетей прямого распространения, а время обучения по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки может быть уменьшен в несколько раз. Во встречном распространении объединены две модели: самоорганизующаяся карта Кохонена и звезда Гроссберга [3]. Их объединение ведет к появлению свойств, которых не было ни у одной из них по отдельности.

Подсистема нейросетевого контроллера MyNeuroCont сформирована с применением библиотеки Neural Network Toolbox среды MATLAB/Simulink [4; 5] (рис. 1).

Рассмотрим работу нейросетевого контроллера более подробно.

Усилие на трамбующих брусках In1, In2 на входе контроллера умножается на коэффициент важности величины W1, W2 соответственно (это необходимо, если входные векторы имеют разную значимость для моделирования). Для уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика усилия с трамбующего бруса равнозначимы и полноразмерны, т. е. $W1 = W2 = 1$.

Далее величины с учтенной значимостью преобразуются блоком Mux в двумерный вектор. Для работы сети встречного распространения необходимо ортогонализировать этот вектор, что и происходит в подсистеме Orthogonalization.

Затем ортогонализированный вектор поступает на вход скрытого слоя Кохонена, проходя перед этим через подсистему Synaps, осуществляющую умножение входного вектора на веса нейрона, которые хранятся в описанных переменных (рис. 2). Из блока подсистемы Synaps вектор попадает в нейрон, реализованный в виде подсистемы. Нейрон разделяет входной вектор на поля и суммирует их, после чего отдает их на вход сжимающей функции – гиперболическому тангенсу.

Выход слоя Кохонена попадает на подсистему MaxVec, которая осуществляет поиск нейрона-победителя согласно концепции слоя. Выход этой подсистемы представляет собой копию входящего в нее вектора и единичного вектора, где все поля равны нулю, за исключением поля нейрона-победителя, которое равно единице.

Далее единичный вектор умножается на веса сигналов, которые берутся из памяти в блоке подсистемы Data Store Read1.

Перемноженный сигнал подается на подсистему AllPlus, которая выдает наибольшее значение из полей вектора. Это связано со структурой входящего в нее сигнала, в котором все поля вектора равны нулю, кроме поля нейрона-победителя, равного сигналу этого нейрона.

Выход этой подсистемы и есть искомым выход сети. Но являясь искомым, он не будет требуемым, поэтому мы должны отыскать величину ошибки, т. е. разницу между требуемым и полученным выходом. Величина ошибки выдается блоком. Затем происходит процесс обучения контроллера, при котором ошибка Error1 умножается на коэффициент обучения (в данном случае он равен 0,005), представленный блоком Constant. Этот коэффициент перемножается с единичным вектором UnitVect и старым значением весов. Таким образом будет получен вектор-прибавка к вектору старых весов, т. е. при их сложении получаются новые веса, которые записываются подсистемой DataWrite1 в отведенные под это переменные.

Однако на этом обучение не заканчивается. Также необходимо подстроить веса скрытого слоя, для чего используется блок TeachHiddenLayer. Этот блок обладает сложной структурой, что обусловлено большим количеством линий связей, однако его содержание заключается в следующем:

$$W_n = W_c + \alpha (X - W_c),$$

где W_n – новый вес; W_c – старый вес; α – коэффициент скорости обучения; X – вектор скрытого слоя. Так реали-

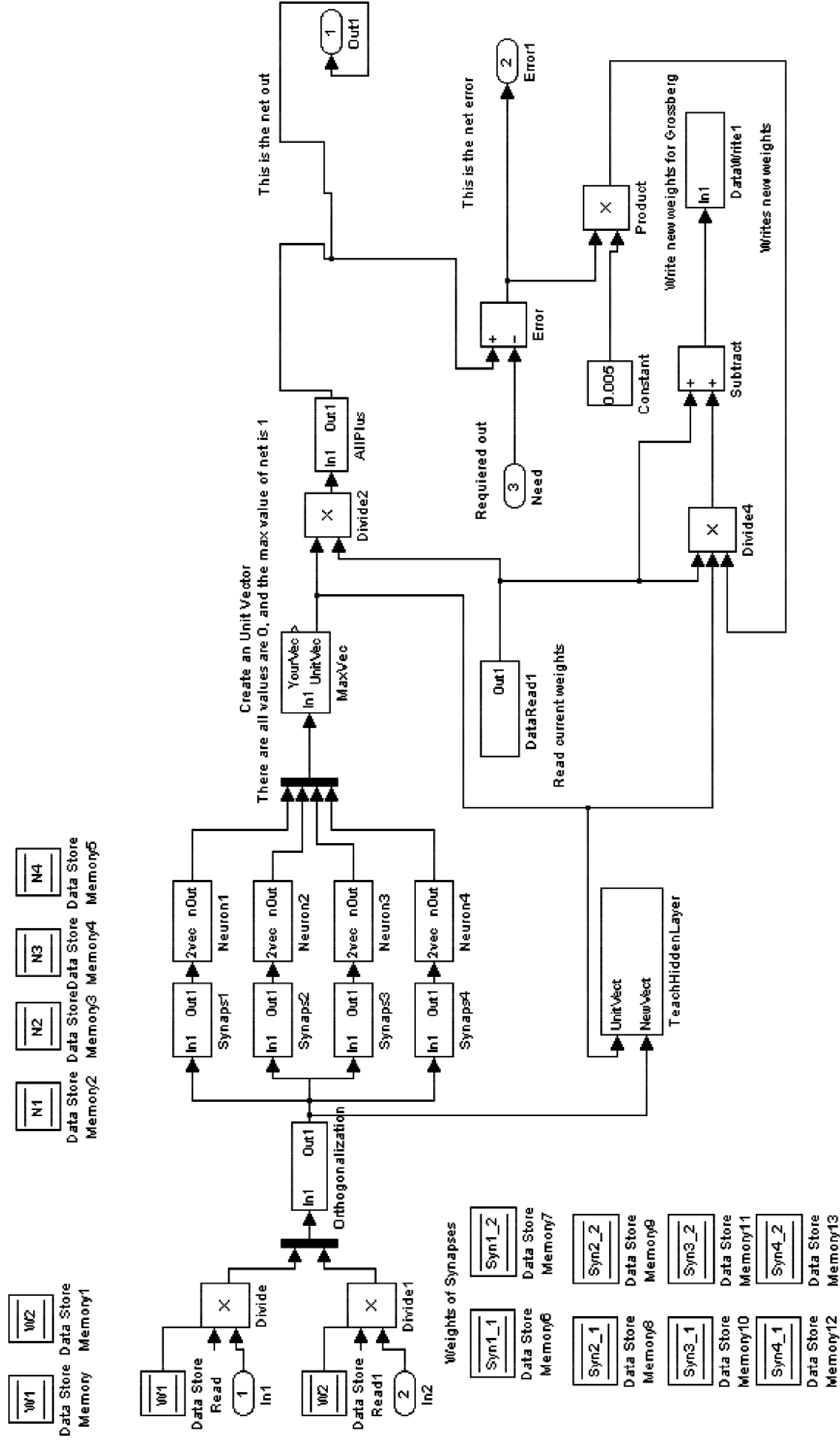


Рис. 1. Структура нейросетового контроллера

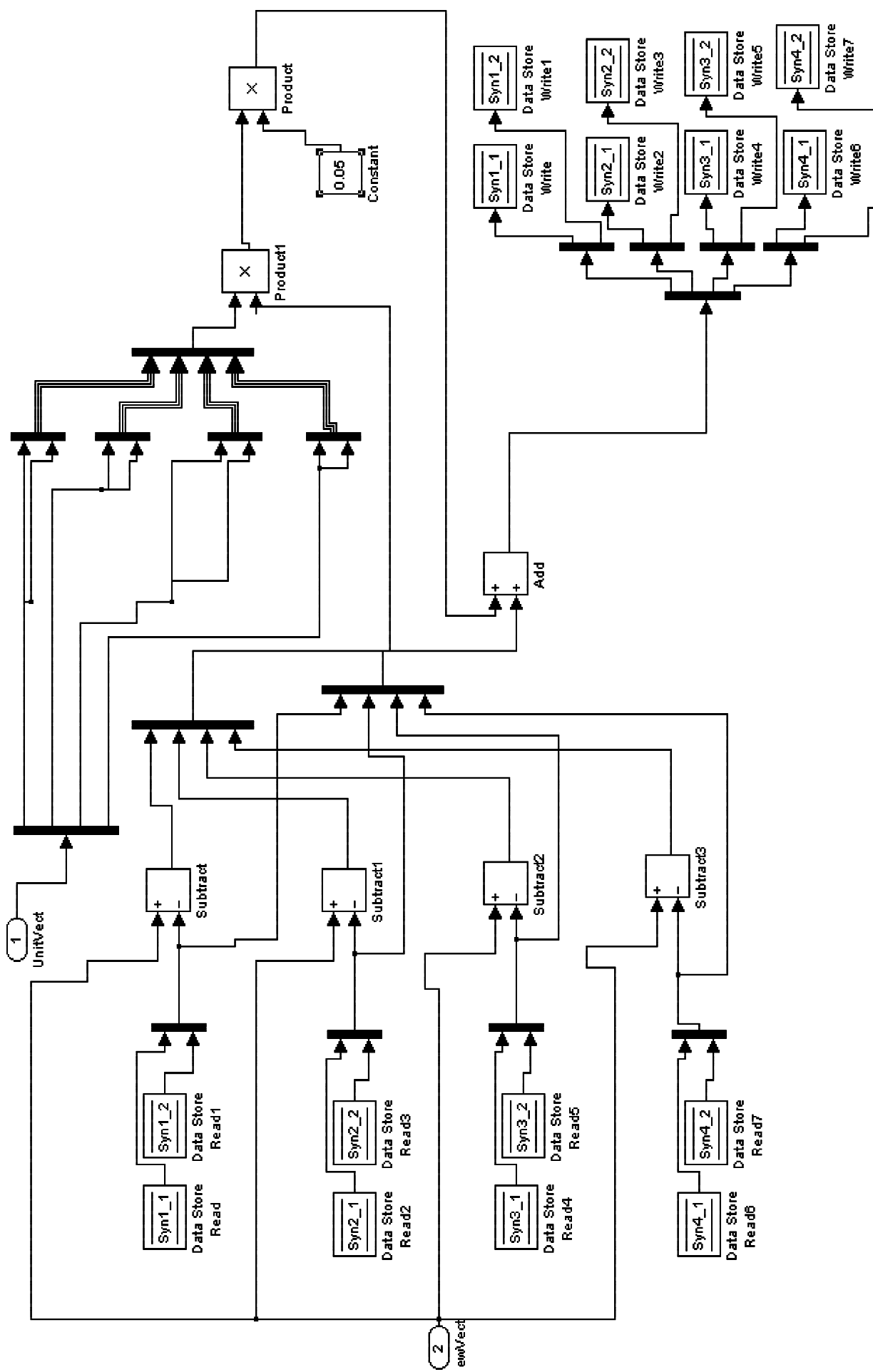


Рис. 2. Структура подсистемы обучения скрытого слоя нейронов Кохонена

зуется процесс, при котором один и тот же нейрон реагирует на один и тот же вход, т. е. происходит классификация слоя Кохонена.

Результаты испытаний нейросетевого контроллера системы управления процессом уплотнения асфальтобетонной смесью приведены ниже (рис. 3, 4).

При моделировании система управления оценила недостаточность текущей частоты трамбования и постепенно увеличила ее (см. рис. 4). После достижения показателей, близких к заданному значению K_y , регулирование осуществлялось в зависимости от неровностей микрорельефа основания.

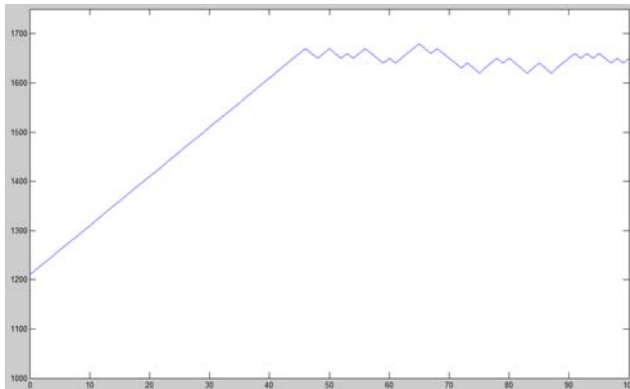


Рис. 3. Изменение частоты вращения привода трамбующего бруса

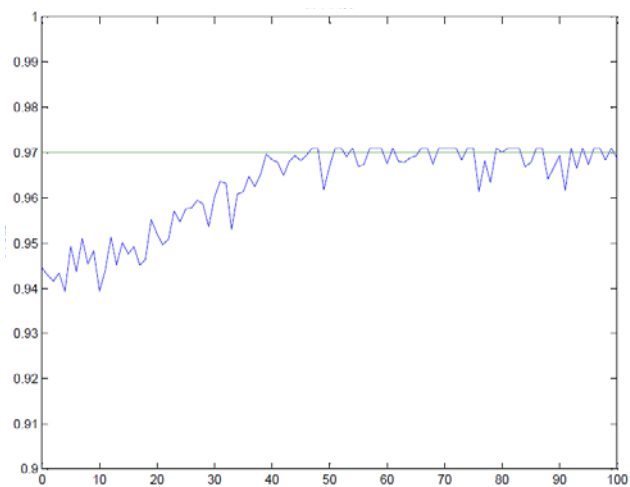


Рис. 4. Моделирование ожидаемого коэффициента уплотнения $K_y = 0,97$ во времени при работе системы управления с нейросетевым контроллером

Таким образом, рассматриваемый нейросетевой контроллер эффективно оптимизирует процесс уплотнения асфальтобетонной смеси, благодаря чему его можно рекомендовать для модернизации существующих систем автоматического управления.

Рабочий процесс укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси из-за изменения ее характеристик во времени характеризуется нелинейными зависимостями и отсутствием возможности точного описания теоретическими математическими моделями. Формирование структуры системы автоматического управления процессами укладки и уплотнения возможно на основе методов искусственного интеллекта с использованием экспериментальных данных, полученных разными авторами.

В данной статье рассмотрен нейросетевой контроллер встречного распространения для САУ подсистемы уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика. Моделирование в системе MATLAB/Simulink показало, что разработанный контроллер может быть использован для моделирования и синтеза систем управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси.

Библиографические ссылки

1. Костельов М. П., Пахаренко Д. В., Бринкс З. К. Как правильно выбрать и настроить асфальтоукладчик [Электронный ресурс] // Дорожная техника-2007 : каталог-справочник. 2007. Вып. 70. URL: <http://www.mrmz.ru/article/index.htm>.
2. Прокопьев А. П., Емельянов Р. Т. Автоматизация процесса уплотнения асфальтоукладчика // Изв. вузов. Строительство. 2004. № 7. С. 82–84.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. М. : Мир, 1992.
4. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 в математике и моделировании. М. : Солон-Пресс, 2005.
5. Дьяконов В. П., Круглов В. В. Математические пакеты расширения MATLAB : спец. справочник. СПб. : Питер, 2001.

R. T. Emelyanov, A. P. Prokopiev, E. S. Turisheva, P. A. Postoev

IMPLEMENTATION OF NEURAL NETWORK CONTROLLER FOR MANAGING ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL COMPLEX

The article is devoted to the development of neural network controller control system compaction process of asphalt concrete. An implementation of the neural network controller in the software system MATLAB&Simulink and simulation results.

Keywords: control the compaction process, automatic control, neural networks.

© Емельянов Р. Т., Прокопьев А. П., Турьшьева Е. С., Постоев П. А., 2011

ОБ ЭЛЕКТРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ*

Рассмотрены генераторы, преобразующие механическую энергию в электроэнергию. Показана низкая эффективность такого производства электроэнергии и его негативное воздействие на экологию. Использование энергии фундаментального электрического взаимодействия электронов и катионов даёт возможность создать высокоэффективный экологически чистый электронный источник электроэнергии. Представлены теоретические основы и технические решения электронного генератора для производства электроэнергии. Показаны преимущества электроэнергетической нанотехнологии (ЭЭНТ) перед известными технологиями производства электроэнергии.

Ключевые слова: фундаментальное электрическое взаимодействие электронов и катионов (наноисточников) электрической энергии, закон сохранения энергии электричества, электронный генератор электроэнергии (ЭГЭ), реактор электронной плазмы, силовой трансформатор – преобразователь ЭГЭ, электродинамический движитель.

Электроэнергия – самый универсальный вид энергии, широко применяемый как в производстве средств аэрокосмической техники, так и в обеспечении жизнедеятельности аэрокосмических аппаратов. Производство электроэнергии осуществляется главным образом с помощью энергоблоков – генераторов, за счёт энергии сжигаемого топлива. В результате этого образуются вредные выбросы и отходы, негативно воздействующие на экологию. КПД топливосжигающих электрогенераторов сравнительно низкий. Они потребляют колоссальное количество топлива. Поскольку топливно-энергетические ресурсы планеты весьма ограничены и цена на них постоянно растёт, эта ситуация ведёт человечество в тупик энергетического экологического кризиса [1].

Анализ существующих электроэнергетических технологий показывает, что для электроэнергетики необходима принципиально новая электрическая 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 кэВ [2].

Сила взаимодействия заряженных тел описывается законом Кулона [2]:

$$F_k = q_1 \cdot q_2 / 4\pi\epsilon r_{ij}^2,$$

где q_1 и q_2 – суммарные заряды взаимодействующих тел; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; r_{ij} – расстояние между центрами заряженных тел.

Усреднённая энергия связи протонов в ядре и электронов в электронной оболочке химического элемента [2] определяется по формуле

$$W_g = e^2(Z-1)^2 / 4\pi\epsilon r_i,$$

где Z – атомный номер химического элемента; r_i – среднее расстояние между заряженными частицами в ядре или электронной оболочке химического элемента. Энергия связи (взаимодействия) двух протонов в ядре составляет порядка 1,6 МэВ, двух электронов в оболочке – по-

рядка 1,6 кэВ; двух ионов в плазме, в которой из каждого атома удалён один электрон на расстояние ионного радиуса $r_i \sim 10^{-10}$ м, ~ 16 эВ.

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] и определяется формулой

$$W_e = A^2 e^2 / 4\pi\epsilon r_p,$$

где A – число Авагадро; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды. На ионизацию моля вещества, например с помощью электрической дуги, затрачивается энергия $W_d = AeU_d \sim 6 \cdot 10^{26}$ эВ, где U_d – напряжение между электродами дуги, равное ~ 100 В. Затраты энергии на формирование из плазмы электронного луча и управление лучом, например методом «электронной пушки» [2]: $W_l = AeU_l \sim 6 \cdot 10^{26}$ кэВ $\sim 10^{11}$ Дж, где U_l – напряжение на аноде электронной пушки, ~ 100 кВ. Соотношение энергий $W_e / (W_d + W_l) \sim 10^{19}$ показывает, что на фундаментальном взаимодействии электрически заряженных частиц можно создать высокоэффективный источник электроэнергии [3].

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.

Техническое решение электроэнергетической нанотехнологии (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 выбросов отходов, негативно воздействующих на экологию.

В основу ЭЭНТ положен процесс перехода электричества из электростатической формы в электродинамическую – «закон сохранения энергии электричества».

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

Теоретическая возможность такого перехода показана в [3].

Уравнения, связывающие плотность электростатической и электромагнитной энергии заряженных частиц:

– для правосторонней ротации электромагнитного процесса:

$$(\mu H^2 + \varepsilon E^2) = \rho R_{\tau} E = DE;$$

– для левосторонней ротации электромагнитного процесса:

$$(\mu H^2 + \varepsilon E^2) = -\rho R_{\tau} E = -DE,$$

где μ и ε – магнитная и диэлектрическая проницаемость среды соответственно; H , E и D – вектор напряжённости магнитной составляющей, вектор напряжённости электрической составляющей и вектор индукции электрической составляющей электромагнитного процесса соответственно; ρ – плотность заряда частицы; R_{τ} – радиус заряженной частицы.

Мощность ЭГЭ определяется формулой

$$P_q = I_e \varphi_{\Sigma 0} = I_e N_L q_s / \varepsilon r_i = I_e N_s I_e a = I_e N_s I_e (M_i / \varepsilon R_a)^{1/2} = I_e^2 Z_H / \eta,$$

где $I_e = e N_e$ – ток эмиссии (N_e – количество электронов, переходящих за одну секунду из электрической дуги в электронный луч); $\varphi_{\Sigma 0} = U_q = N_L N_s \int E_i dl \cong \varphi_i N_s N_L$ – сум-

марный потенциал относительно точки с нулевым потенциалом, создаваемый электронным лучом на рабочем электроде (рабочее напряжение), определяется из уравнения $\text{grad } \varphi = -E$; $N_s = N_e r_i / V_i$ – среднее количество заряженных частиц в поперечном сечении электронного луча; $\varphi_i = e / \varepsilon r_i = (e E_a / \varepsilon)^{1/2}$ – потенциал, создаваемый каждым электроном луча; $E_i = e / \varepsilon r_i^2$ – напряженность электрического поля, создаваемая электроном луча; $r_i = (e / \varepsilon E_a)^{1/2}$ – среднее расстояние между электронами в луче, устанавливающееся равновесием сил Кулона, расталкивающих электроны, и Лоренца – притягивающих электроны друг к другу; $V_i = (e U_a / M_i)^{1/2}$ – средняя скорость электронов в луче, получивших потенциал анодного поля, образующего луч из электронного облака плазмы; $E_a = U_a / R_a$ – напряженность анодного поля «электронной пушки», напряжение на аноде и расстояние между анодом и катодом; $r_i N_L \cong l_s$ – эффективная длина электронного луча, воздействующего на рабочий (поляризующийся) электрод (во сколько раз l_s больше R_a , во столько раз U_q больше U_a и P_q больше P_a , так как E_i по длине луча практически одинакова; происходит умножение напряжения электронным лучом в l_s / R_a раз, $U_q = U_a l_s / R_a$; $q_s = e N_s$ – суммарный заряд электронов, одновременно воздействующих на рабочий электрод; $\eta = Z_H / (Z_{qo} + Z_H)$ – КПД ЭГЭ в электрической цепи потребителей электроэнергии; $Z_{qo} = Z_{H, \text{ort}} = \varphi_{\Sigma 0} / I_e = I_e^{-1} (M_i / \varepsilon R_a)^{1/2}$ – внутреннее сопротивление ЭГЭ, ему должно быть равно сопротивление нагрузки для получения максимального КПД от генератора тока, каким является ЭГЭ.

Электрический ток, проходя по внешней цепи, соединяющей положительно и отрицательно поляризующиеся электроды, совершает электрическую работу в приемниках электрической энергии, т. е. передает ее потребителям, включенным в цепь. Вместе с этим электроны, приходя на положительно поляризованный катод электрической дуги, рекомбинируют с положительными иона-

ми, образуя атомы и молекулы рабочего вещества (в данном случае инертного газа), которое вновь подвергается ионизации полем электрической дуги [4]. Многократная ионизация – рекомбинация рабочего вещества в герметичном объеме, не расходует его, не нарушает его свойства.

На придание скорости электронам, формирование луча из электронной плазмы и массоперенос электронов от области электрической дуги до поляризующегося электрода затрачивается энергия анодного поля

$$W_a = e N_e U_a = N M_i V_i^2 = W_{Mv}.$$

При этом в сжатом из электронной плазмы луче создается энергия взаимодействия электрических зарядов

$$W_{ij} = q_i q_j / \varepsilon r_{ij} = N_i e_i N_j e_j / \varepsilon r_{ij} = N^2 e^2 / \varepsilon r_{ij}.$$

Баланс энергии ЭГЭ:

$$W_{\varphi e} + W_a + W_e = W_{ij} + W_{Mv} = W_{\lambda T} + W_q = I^2 Z_H t / \eta,$$

где $W_{\varphi e} = e \varphi_e N$ – затраты энергии на совершение работы выхода N электронов из материала катода для получения электронной плазмы, в данном случае φ_e равно напряжению между электродами электрической дуги; $W_e = N e^2 k / \varepsilon$ – энергия электрического поля N свободных электронов; $W_{Mv} = N M_i V_i^2$ – кинетическая энергия частиц, движущихся в электронном луче; $W_{\lambda T}$ – электромагнитное излучение и тепловой нагрев мишени, обусловленные торможением движущихся электрических зарядов и торможением массы частиц; $W_q = e N \varphi_{\Sigma 0} = I^2 Z_H t$ – энергия взаимодействия электронов, сжатых в электронный луч – потенциальная энергия электрических зарядов, преобразуемая в электромагнитную энергию и передаваемая под действием суммарного потенциала электрическим током в нагрузку сопротивлением Z_H , включенную в электрическую цепь рабочего электрода, принимающего электронный луч.

Для эффективного производства электроэнергии необходимо, чтобы K_w – коэффициент эффективности преобразования электростатической энергии – соотношение производимой электроэнергии к затрачиваемой на это производство, был больше единицы. Чем больше это соотношение, тем выше эффективность производства ЭЭНТ. В случае ЭГЭ [4]

$$K_w = W_q / (W_a + W_{je}) = \varphi_{\Sigma 0} / (U_a + \varphi_e) \cong N_s I_e (M_i / \varepsilon R_a U_a^2)^{1/2} > 1,$$

так как $\varphi_{\Sigma 0} > U_a \gg \varphi_e$.

Отсюда минимальная эмиссия электронов, необходимая для производства электроэнергии с $K_w = 1$, определяется как

$$N_{\text{emin}} > U_a (\varepsilon R_a / M_i l_s^2)^{1/2}.$$

При $U_a = 10^3$ В и $E_a = 10^4$ В/м, $N_{\text{emin}} > 10^{14}$ е/с. Одновременное взаимодействие моля электронов $N = 6 \cdot 10^{23}$ (их суммарная масса $\approx 0,5 \cdot 10^{-6}$ кг) и сближение их на расстояние ионного радиуса $r_{ij} \sim 10^{-10}$ м создают пучок электронов с суммарной энергией порядка 10^{30} Дж.

Определим минимальную силу тока и мощность ЭГЭ.

Затраты энергии анодного поля на ускорение и массоперенос электронов $W_a = e N_e U_a$ представляют собой линейную зависимость от суммарного заряда электронов луча $q = e N_e$. Энергия взаимодействия электронов, сжатых в электронный луч $W_q = N^2 e^2 / \varepsilon r$, представляет со-

бой квадратичную зависимость от суммарного заряда электронов луча (рис. 1).

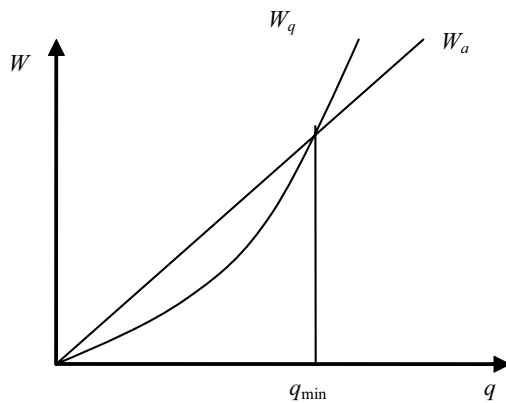


Рис. 1

Для производства электроэнергии с помощью ЭГЭ необходимо, чтобы количество производимой электроэнергии превышало затраченную электрическую энергию:

$$W_q / W_a = K_w > 1.$$

Из этого соотношения определяем минимальную силу тока, необходимую, чтобы ЭГЭ был генератором, а не преобразователем энергии:

$$I_{\min} = \rho_q V_i S_q \approx \varepsilon (e/m)^{1/2} \cdot U_p^{3/2} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot U_p^{3/2} (A).$$

Минимальная мощность фазы ЭГЭ:

$$S_{\min} = I_{\min} U_p = 4 \cdot 10^{-5} \cdot U_p^{5/2} (BA).$$

Обозначения: $\rho_q = 3e/4\pi r_i^3$ – плотность заряда в электронном луче; $V_i = (eU_a/M)^{1/2}$ – средняя скорость электронов в луче, получивших потенциал анодного поля; $S_q = \pi r_i^2 I_s (E_a \cdot \varepsilon/e)^{1/2}$ – площадь поперечного сечения электронного луча; $r_i = (e/\varepsilon E_a)^{1/2}$ – среднее расстояние между электронами в луче.

При рабочем напряжении 10 кВ минимальная мощность ЭГЭ на каждую фазу составляет 400 кВА. При рабочем напряжении 35 кВ $S_{\min}$ на каждую фазу составляет около 9 МВА. При рабочем напряжении 100 кВ $S_{\min}$ на фазу – 132 МВА.

Для производства и потребления электроэнергии по ЭЭНТ необходим реактор электронной плазмы (РЭП) ЭГЭ, превращающий рабочее вещество в заряженную плазму с помощью электрической дуги в ортогональном электрическом поле, и силовой трансформатор – преобразователь ЭГЭ (СТ-П), преобразующий электростатическую энергию заряженной плазмы в электроэнергию и согласующий ЭГЭ с сетью потребителей.

Технологическая схема электроснабжения по ЭЭНТ с помощью ЭГЭ показана на рис. 2. Здесь РЭП – реактор электронной плазмы; СТ-П – силовой трансформатор –

преобразователь электростатической энергии луча электронной плазмы в электроэнергию, которую передает в сеть потребителей электроэнергии; РПН – регулируемый преобразователь напряжения, создаёт необходимые напряжения для совместной работы РЭП и СТ-П.

Укрупненная схема топливосжигающей электроэнергетической технологии с помощью ТЭС или АЭС, вырабатывающих соответственно около 70 % и порядка 10 % электроэнергии [1] показана на рис. 3. Здесь Т – топливо, углеводородное или ядерное; К – котёл для сжигания соответствующего топлива и превращения его в тепловую энергию; ТП – турбина паровая, преобразующая тепловую энергию пара в механическую энергию; МГЭ – механический генератор электроэнергии, преобразующий механическую энергию в электроэнергию; ПВН – трансформаторная подстанция высокого напряжения; ЛЭП – высоковольтная линия передачи электроэнергии; ПНН – трансформаторная подстанция низкого напряжения. Сеть потребителей электроэнергии такая же, как в ЭЭНТ.

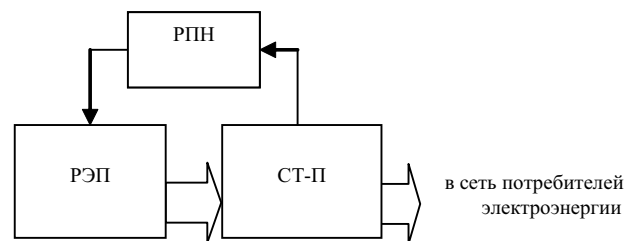


Рис. 2

Сравнивая схемы электроснабжения с помощью ЭГЭ и с помощью топливосжигающих энергоблоков ТЭС или АЭС, видим, что для ЭГЭ не требуется топливо и сжигающий его котел, а также турбогенератор, преобразующий тепловую энергию в электроэнергию. ЭГЭ – экологически чистый источник энергии, поэтому его можно располагать непосредственно на территории сети потребителей, исключая ЛЭП – ненадежное звено энергосистемы, подверженное внешним воздействиям, в 2–3 раза повышающее стоимость передаваемой электроэнергии. Соответственно исключаются повышающая и понижающая трансформаторные подстанции. ЛЭП занимают сравнительно большие площади на территории городов и поселков. Такое упрощение технологической схемы ЭГЭ и схемы электроснабжения существенно (в 5–7 раз) снижает трудозатраты на создание и эксплуатацию энергосистемы, повышает ее надежность и сокращает сроки промышленного освоения.

Для промышленного освоения и массового применения электронной энергетики необходимы известные технологии электровакуумного, электротехнического приборостроения, а также технологии техники высоких напряжений. Имеющиеся электрические сети потребителей электроэнергии, силовое, бытовое и другое элект-

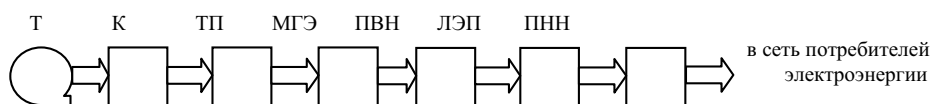


Рис. 3

ротехническое оборудование могут быть использованы без изменений.

ЭГЭ можно эффективно использовать в качестве энергетических и силовых устройств на сухопутных, водных, воздушных, космических транспортных средствах [5].

Проработаны ЭГЭ номинальной мощностью 1, 10, 100 и 200 МВА [6]. Себестоимость производства электроэнергии с помощью ЭГЭ сравнительно низкая и составляет 10–15 руб. за 1 000 кВт·ч для энергоблоков мощностью 100...200 МВА; 30–40 руб. за 1 000 кВт·ч для энергоблоков мощностью порядка 10 МВА; 100–120 руб. за 1 000 кВт·ч для энергоблоков мощностью порядка 1 МВА.

Электронные генераторы электроэнергии, в силу их достоинств, займут ведущее положение в электроэнергетике третьего тысячелетия [6; 7].

Библиографические ссылки

1. Топливо-энергетический комплекс России. М. : Энергия, 2006.

2. Физическая энциклопедия : в 4 т. М. : Сов. энцикл., 1990.

3. Казьмин Б. Н. Анализ новых представлений об электрическом заряде, поле, плазме, с целью создания новейших высокоэффективных технологий // Повышение эффективности ТЭК : докл. на 3-й Всерос. науч.-практ. конф. г. Красноярск, 15–16 нояб. 2002. С. 12–14.

4. Пат. RU № 2262793 С2, МПК⁷ Н 02 № 3/00. Способ производства энергии / Казьмин Б. Н. ; заявка 2002 134362/15, 19.12.2002 ; опубл. 20.10.2005. Бюл. № 29.

5. Пат. RU № 2270513 С1, МПК Н02К 51/00. Электродинамический движитель / Артемьев М. И., Казьмин Б. Н. ; заявка 2004125020/09, 16.08.2004 ; опубл. 20.02.2006. Бюл. № 5.

6. Бизнес-план создания, освоения и развития электронной энергетики / Лаб. НИОКР «Электронананотехнологии». Красноярск, 2005.

7. Казьмин Б. Н. Электронный генератор электроэнергии : сертификат Всерос. выставки «Красноярск-2009 „Технологии будущего“», 19–21 апр. 2009. Красноярск, 2009.

B. N. Kazmin, I. V. Trifanov

ABOUT ELECTRONIC GENERATOR OF ELECTRIC POWER

The authors consider generators converting mechanical energy to electric power. Low efficiency of such manufacture of electric power and its negative influence on ecology is shown. Use of energy of fundamental electric interaction between electron and cation gives possibility to create highly effective ecologically pure electronic source of electric power. Theoretical bases and technical decisions of electronic generator for electric power manufacture are presented. Advantages of electropower nanotechnology (EPN) against well-known technologies of electric power production are shown.

Keywords: fundamental electric electron and cation interaction, electric energy, law of conservation of energy of electricity, electronic generator of electric power (EGEP), reactor of electronic plasma, power transformer – converter EGE, electrodynamic propelling.

© Казьмин Б. Н., Трифанов И. В., 2011

УДК 658.512.001.56

М. В. Карасева

МОДИФИКАЦИЯ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕЗАУРУСА

Представлена модификация модели синтеза структуры информационного обеспечения в распределенной системе поддержки принятия решений на основе тезауруса, учитывающая мультилингвистический случай представления информации. Это существенно повышает ее значимость для современных СППР, так как большинство крупных как российских, так и зарубежных компаний работают на международном рынке и, как следствие, принимать решение, основываясь только на одноязычных данных, сегодня уже нецелесообразно.

Ключевые слова: модификация, поддержка принятия решений, тезаурус.

В области управления предприятиями и организациями существуют мощные базы данных, развитые информационные сети и системы, однако одной из основных проблем обеспечения информацией специалистов

и лиц, принимающих решение (ЛПР), остается проблема информационного поиска релевантных источников (документов и данных) в распределенных информационных системах.

Для целей информационного поиска используются дескрипторные информационно-поисковые языки, обладающие большой семантической силой и реализующие координатное индексирование. Смысловое содержание документа можно выразить списком так называемых ключевых слов. Оптимальное индексирование документов в информационно-поисковых сервисах систем поддержки принятия решений (СППР) обеспечивается использованием специальных словарей-справочников, называемых тезаурусами [1].

Тезаурус используется при вводе документов в автоматизированные информационно-управляющие системы, при формировании предписаний на поиск документов, при обеспечении контроля за единообразием употребления слов и словосочетаний. Тезаурус является нормативным словарем ключевых слов в определенной предметной области. Отбор ключевых слов для тезауруса производится с учетом частоты их употребления, значения информационного поиска, приемлемости терминов для ЛПР. При этом словарный состав тезауруса необходимо постоянно обновлять.

С помощью тезауруса решается проблема обеспечения точности информационного поиска в сети Интернет, поскольку необходимость устранения семантической неоднозначности становится все более очевидной с ростом объема баз данных корпораций. Устранение неоднозначности терминов для того, чтобы сделать более точными их значения – одна из главных задач тезауруса. Создание тезауруса как части информационно-поискового обеспечения систем поддержки принятия решений в корпоративных информационно-управляющих системах (КИУС) получает все большую актуальность. На основе анализа существующих моделей синтеза информационных структур распределенных СППР предложена модель, использующая элементы теории множеств и обеспечивающая синтез структуры распределенной системы поддержки принятия решений на основе тезауруса. Одним из преимуществ данной модели является возможность ее применения в двух режимах: частотного и без использования частотных характеристик терминов. Выявлен существенный недостаток современных моделей: как правило, они не используют мультилингвистичность [2] информационного обеспечения СППР в современных корпоративных информационно-управляющих системах.

При модификации синтеза структуры распределенных систем поддержки принятия решений на основе тезауруса в современных условиях необходимо производить учет мультилингвистичности документов, представленных в корпоративной сети. Не менее важно помнить, что в ходе поиска мультилингвистической информации появляется возможность формирования мультилингвистических запросов в рамках как одной поисковой процедуры, так и нескольких одноязычных поисковых процедур, но выполненных с применением разных языковых подмножеств.

Пусть $S_j = (T_j, D_{ji}, M_{ji}, \delta_j)$, $j = \overline{1, v}$ – локальные информационные системы, предназначенные для обеспечения функционирования сложной СППР, состоящей из совокупности $K = \{1, \dots, \varphi\}$ объектов. Коэффициент i отвечает за языковую принадлежность документа или

запроса в рассматриваемой модели. При этом мультилингвистическая информация от каждой локальной информационной системы поступает в центр сбора информации для дальнейшей передачи её управляющему органу. Одна локальная информационная система может обслуживать несколько объектов.

Распределённая информационная система $S = (T, D, M, \mu)$ определяется через локальные составляющие:

$$1. T = \bigcup_j T_j; R_j = R \cap (T_j \times T_j);$$

$$K_j = K \cap (T_{0j} \times T_{0j});$$

$$2. D_j = \bigcup_j D_{ji};$$

$$3. (K \supset \bigcup_j K_j) \wedge (\leq_j = \leq \cap (M_{ji} \times M_{ji}));$$

$$4. \forall m_i \in M_i \rightarrow \delta(m_i) = \{d : d \in D \wedge m_i \leq t(d_i)\}.$$

Распределённая информационная система выступает в роли центра сбора и обработки информации, т. е. обработки ответов на запросы ЛПР [3].

Как и ранее, для формализации задачи введём обозначения: c_{jl} – стоимость сбора информации об l -м объекте j -й локальной информационной системой; b_{jl} – стоимость передачи единицы информации об l -м объекте в центр из j -й информационной локальной системы; x_{jl} – булева переменная, равна 1, если l -й объект обслуживается j -й локальной информационной системой, и равна 0 в противном случае.

Описание состояния каждого объекта представляется в виде своей информационной модели: $S_j^l = (T_j^l, D_{ji}^l, M_{ji}^l, \delta_j^l)$, $l \in K, j \in \{1, \dots, v\}$, где T_j^l – тезаурус с дескрипторным множеством T_{0j}^l , описывающий состояние l -го объекта; D_{ji}^l – коллекция возможных мультилингвистических документов, которые требуются органам управления для принятия решения; M_{ji}^l – множество допустимых мультилингвистических запросов со стороны органов управления; $\delta_j^l: M_{ji}^l \rightarrow 2^{D_{ji}^l}$ – отображение, сопоставляющее с каждым мультилингвистическим вопросом множество мультилингвистических документов. Индекс j указывает, что информационная модель l -го объекта сформирована в j -й локальной информационной системе.

Информация об объектах представляется независимыми мультилингвистическими информационными моделями и вместе с тем она сосредоточена в одном месте, в одной «точке». Таким образом, информационные модели объектов являются подсистемами локальной системы, обслуживающей эти объекты. Это даёт возможность формулировать ответы на запросы в виде

$$\delta_j(m_i) = \{d_i : d_i \in D_{ji} \wedge m_i \leq t_{ji}(d_i),$$

где $m_i \in M_{ji}$.

Правильность ответа гарантируется свойствами распределённой системы.

Для запросов сложного типа, включающих в себя несколько дескрипторов, выражение имеет вид

$$\begin{aligned} \delta_j(m_i) &= \bigcap_{q=1}^k \bigcup_{l=1}^p \delta_q(\bar{m}_i) = \bigcap_{q=1}^k \bigcup_{l=1}^p = \\ &= \{d_i : d_i \in D_{qi} \wedge m_{qi} \leq t_{qi}(d_i)\}, \end{aligned}$$

где $\bar{m}_i = \{m_{1i}, \dots, m_{ki}\}$, $\bar{m}_{qi} = \{m_{qi}\}$; p – число объектов, обслуживаемых локальной информационной системой.

Объём передаваемой информации на запрос $\bar{m}_i$ из j -й локальной информационной системы равен $\alpha_{m_i} = F(\delta_j(m_i))$, где F – оператор преобразования информации к виду, предназначенному для передачи в каналы связи.

Сформулируем задачу распределения объектов по локальным информационным подсистемам при множестве допустимых запросов в распределённой системе $M_i = \{m_{i1}, \dots, m_{ri}\}$, на которые ответы формируются последовательно без повторения запросов. Для удобства положим, что каждый запрос описывается одним дескриптором.

Требуется найти

$$\sum_j \sum_l c_{jl} x_{jl} + \sum_q \sum_j \sum_l b_{jl} F(\delta_j^l(m_{qi})) x_{jl}$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_j x_{jl} &= 1, \forall l \in K; \\ \sum_l x_{jl} &\geq (\leq) N_j, \forall j \in \{1, \dots, v\}. \end{aligned}$$

Ограничение требует обслуживания каждого объекта только одной информационной системой. Условие ограничивает количество объектов, подлежащих обслуживанию локальными подсистемами, либо, напротив, требует, чтобы их было не меньше заданного числа.

Усложним требования к распределённой системе. Потребуем, чтобы органы управления получали ответы на запросы даже в случае если любая локальная информационная система перестанет функционировать. Иначе говоря, возникает потребность в дублировании информации об объектах.

Постановка задачи меняется только в части, касающейся изменения ограничения. Оно принимает вид

$$\sum_j x_{jl} = 1, \forall l \in K.$$

Модифицируем ещё раз постановку задачи. Будем считать, что после закрепления объектов за локальными информационными системами в задаче минимизации перераспределения объектов не происходит. Однако органам управления необходимо иметь информацию о предыдущих состояниях объектов даже после прекращения функционирования любой из локальных подсистем. Это означает, что в процессе функционирования объектов постоянно происходит дублирование их информационных моделей и информация локальных информационных систем перераспределяется между ними.

Для ясности изложения упростим ситуацию, полагая, что перераспределение информации осуществляется один раз. Несмотря на то что в реальной ситуации информация о состоянии объектов передаётся по мере её поступления на всём интервале времени функционирования локальных информационных систем, указанное ограничение не снижает общности рассуждений, так как полная постановка задачи потребует просто дополнительного суммирования по дискретным моментам времени.

Введём следующие обозначения: a_{js} – стоимость передачи единицы информации из j -й локальной информационной системы в s -ю; y_{jst} – булева переменная, равна 1, если информация об l -м объекте перераспределяется из j -й локальной информационной системы в s -ю.

Окончательно задача синтеза структуры распределённой информационной системы формулируется так. Необходимо найти

$$\begin{aligned} &\sum_j \sum_l c_{jl} x_{jl} + \sum_q \sum_j \sum_l b_{jl} F(\delta_j^l(m_{qi})) x_{jl} + \\ &+ \sum_j \sum_s \sum_l a_{js} [F(T_j^l, D_{jl}^l, M_{jl}^l, \delta_j^l) x_{jl}] y_{jst} \end{aligned}$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_j x_{jl} &= 1, \forall l \in K; \\ \sum_l x_{jl} &\geq (\leq) N_j, \forall j \in \{1, \dots, v\}; \\ \sum_s y_{jst} &= 1, \forall l \in K, j = \{l : x_{jl} = 1\}, \forall j \in \{1, \dots, v\}. \end{aligned}$$

Последнее ограничение требует перераспределения информации об l -м объекте из j -й локальной информационной системы.

На основе задачи минимизации можно сформулировать ряд задач, учитывающих те или иные требования относительно структуры распределённой системы. Для этого необходимо сформулировать требования в виде ограничений и ввести их в описание задачи.

Рассмотрим, что нового в постановку задач синтеза распределённых систем привносит использование модели системы на тезаурусе с весами. Главное достоинство этой модели, как уже отмечалось, состоит в возможности учёта распределения информации по дескрипторам, описывающим документ, и тем самым, по сути дела, возможности оценки неопределённости в описании ответов на запросы со стороны органов управления.

Итак, пусть документы в локальных информационных системах представляются в виде

$$\begin{aligned} &t_{1i}^j, w_{1i}^j, \dots, t_{2i}^j, w_{2i}^j, \dots, t_{ki}^j, w_{ki}^j, \\ &t(d_{ji}^l) = d_{ji}^l \in D_{ji}^l, S_j^l = (T_j^l, D_{ji}^l, M_{ji}^l, \delta_j^l). \end{aligned}$$

В реальных ситуациях при описании состояния объектов естественно ожидать, что разные локальные информационные системы, обеспеченные различными техническими средствами измерения и наблюдения за состоянием объектов, будут предоставлять не совпадающие между собой описания одних и тех же объектов. Тогда при запросе m_i органов управления о состоянии некоторого объекта l локальные информационные системы дадут ответы с точностью подобия с:

$$(d_{ji}^l, \alpha_j^l) : d_{ji}^l \in D_{ji}^l \wedge m_i = {}_p t(d_{ji}^l),$$

$$\delta_j^l(\bar{m}_i, \rho) = \{\alpha_j^l = \mu(\bar{m}_i, t(d_{ji}^l))\}, \forall l \in K, j = \bar{1}, \bar{v}.$$

Очевидно, что показатели α_j^l могут быть использованы для уточнения структуры распределённой системы, т. е. выбора такой структуры, которая бы обеспечивала получение ответов с максимальной мерой корреляции или с мерой корреляции не менее заданной. Последнее требование эквивалентно условию передачи информации с отвечающей запросу содержательной частью не менее заданной. Формализация этого условия применительно к постановке задачи минимизации состоит во введении дополнительных ограничений:

$$\alpha_j^l = \mu(\bar{m}_i, t(d_{ji}^l)) \geq \alpha_j^+, \forall l \in K, \forall j : x_{jl} = 1.$$

В практических приложениях, учитывающих мультилингвистичность представления информации в системе,

возможны и другие требования к точности получаемых ответов, зависящие от выбранного языка (или множества языков). Как и ранее, необходимо только всегда чётко представлять себе целесообразность использования тех или иных моделей в разных языковых множествах и ко-нечный эффект от их мультилингвистической реализации.

В заключение необходимо отметить, что эффективность целевого применения распределенной СППР, поддерживающей мультилингвистичность представления информации, зависит не только от того, насколько удачно при синтезе были выбраны структура (включая избыточность информационного обеспечения) и параметры системы, но и от того, насколько рационально организована система контроля функционирования компонентов в процессе эксплуатации.

M. V. Karaseva

SYNTHESIS MODIFICATION OF THE DISTRIBUTED SYSTEM OF DECISION SUPPORT ON THE THESAURUS BASIS

The paper presents a modification of model of data ware synthesis in distributed system of decision support on the thesaurus basis, taking into account multilingual case of informational presentation. It increases its value for modern systems of decision support, since the majority of huge Russian and foreign companies operate in the international market and that is why it is not expedient to make decisions on one-lingual data basis.

Keywords: modification, decision support, thesaurus.

© Карасева М. В., 2011

УДК 004.932

В. Б. Кашкин, О. И. Киселев

БЫСТРАЯ ОБРАБОТКА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ МИНИМАЛЬНЫЕ КУБАТУРНЫЕ ФОРМУЛЫ

Предлагается алгоритм обработки двумерных аэрокосмических изображений, использующий одномерное дискретное преобразование Фурье, связанное с решетчатыми кубатурными формулами, точными на тригонометрических полиномах.

Ключевые слова: дискретное преобразование Фурье, минимальные кубатурные формулы.

Рассмотрим плоское изображение $f(x, y)$, где f – яркость, $0 \leq x, y \leq 1$, $f(x, y) \in L^2$. Это может быть высококачественная фотография земной поверхности, полученная с борта авиационных или космических носителей. Считаем, что $f(x, y)$ – периодическая функция двух переменных с периодом 1 по каждой и что $f(x, y)$ может быть разложена в абсолютно сходящийся ряд Фурье:

$$f(x, y) = \sum_{m,n} a_{m,n} e^{2\pi i(xm + yn)}, \quad \sum_{m,n} |a_{m,n}| < \infty, \quad (1)$$

$$a_{m,n} = \int_0^1 \int_0^1 f(x, y) e^{-2\pi i(xm + yn)} dx dy. \quad (2)$$

Библиографические ссылки

1. Поиск и обработка информации на базе мультилингвистических тезаурусов / С. В. Рогов, П. В. Зеленков, И. В. Ковалев, М. В. Карасева // Материалы Всерос. науч. конф. «Новые информ. технологии и системы» (15–20 февр. 2008). М., 2008. С. 33–35.
2. Ковалев И. В., Карасева М. В. Автоматизация формирования информационной базы мультилингвистической адаптивной технологии // Вестник СибГАУ. 2007. Вып. 4. С. 31–35.
3. Лохмаков П. М., Кустов Д. В., Цветков Ю. Д. Интеллектуализация поиска информации в корпоративных системах // Вестн. ун-в. комплекса : сб. науч. тр. / под ред. Н. В. Василенко ; НИИ систем управления, волновых процессов и технологий. Красноярск, 2006. Вып. 23. С. 141–156.

Коэффициенты $a_{m,n}$ образуют двумерный спектр Фурье функции $f(x, y)$.

При двумерном дискретном преобразовании Фурье устанавливается взаимно однозначное соответствие между значениями функции $f(x, y)$ в узлах x_j, y_l , $0 \leq j, l \leq N-1$ и множеством чисел $A_{m,n}$, $0 \leq m, n \leq N-1$, так что тригонометрический полином

$$T(x, y) = \sum_{m,n=0}^{N-1} A_{m,n} e^{2\pi i(xjm + yln)} \quad (3)$$

восстанавливает функцию $f(x, y)$ в узлах, т. е. $T(x_j, y_l) = f(x_j, y_l)$, $0 \leq j, l \leq N-1$, при этом число

$A_{m,n}$, $0 \leq m, n \leq N-1$, есть кубатурная сумма в кубатурной формуле

$$Q(m,n) = \frac{1}{N^2} \sum_{j,l=0}^{N-1} f(x_j, y_l) e^{-2\pi i(x_j m + y_l n)} = A_{m,n}, \quad (4)$$

т. е. приближенное значение коэффициента Фурье $a_{m,n}$ ряда Фурье (1) от функции $f(x, y)$ с заданной тригонометрической степенью $d \geq 1$. Последнее означает, что формула (4) точна для всех функций вида $f(z, w) = z^\alpha w^\beta$, где $\alpha, \beta \in \mathbb{Z}$, $|\alpha| + |\beta| \leq d$ и не точна хотя бы для одной такой функции с $|\alpha| + |\beta| = d+1$ [1].

Важной проблемой теории кубатурных формул высокой тригонометрической точности является построение минимальных кубатурных формул, т. е. таких, у которых число узлов при данном d было бы минимальным [1].

Фотографическое изображение может быть отсканировано с помощью некоторого устройства, например, настольного сканера, который считывает значения яркости $f(x, y)$ в узлах прямоугольной решетки $x = x_j, y = y_l, 0 \leq j \leq N_1-1, 0 \leq l \leq N_2-1$, N_1 и N_2 – количество отсчетов по x и по y . В этом случае $f(x, y) = f(x_j, y_l) = f(j, l)$. Классическим методом (КМ) вычисления спектра двумерной дискретной функции является применение двумерного дискретного преобразования Фурье (ДДПФ) по квадратной решетке $N_1 = N_2 = N$ [2]:

$$A_{n,m} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \left[\exp\left(\frac{2\pi i j n}{N}\right) \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} f(j, l) \exp\left(\frac{2\pi i l m}{N}\right) \right]. \quad (4)$$

При КМ вначале выполняется одномерное преобразование Фурье по столбцам, а затем результат подвергается одномерному преобразованию по строкам (или наоборот, вначале по строкам, а затем по столбцам). Общее число операций сложения и умножения составляет N^4 . Вычисление приближенных значений коэффициентов Фурье по формуле (4) в КМ проводится на основе декартова произведения двух одномерных квадратурных формул с N узлами, кубатурная формула имеет N^2 узлов, её тригонометрическая степень $d = N-1$ (рис. 1). Квадратная решетка показана на рис. 1, а. Существуют кубатурные формулы такой же степени d , но имеющие значительно меньшее число узлов [3].

Для ускорения вычислений при КМ применяются быстрые алгоритмы, чаще всего алгоритм Кули–Тьюки [2]. Его особенностью является выбор числа отсчетов из условия $N = 2^M$, M – натуральное число. Преимущество такого выбора состоит в том, что значения тригонометрических функций достаточно вычислять $2M$ раз, поскольку они периодически повторяются. Кроме того, вычисления можно проводить по рекуррентным формулам. Число операций сложения и умножения при нахождении коэффициентов Фурье одной строки или столбца изображения размерностью $N \times N$ пикселей с применением алгоритма Кули–Тьюки равно $N \cdot \log_2 N$. Проводя преобразование по каждой из N строк изображения и повторяя этот процесс по каждому из столбцов, получаем в итоге $2N^2 \cdot \log_2 N$ операций.

Важное применение классического метода ДДПФ – глобальная фильтрация изображений. Пусть, например, изображение искажено (расфокусировано) некоторой линейной системой (например, фотографическим

объективом) с функцией рассеяния точки $h(x, y)$. Возьмем значения $h(x, y)$ в тех же узлах квадратной решетки: $x = x_j, y = y_l, j, l = 0, N-1$, что и для изображения $f(x, y)$, т. е. будем рассматривать функцию $h(x_j, y_l) = h(j, l)$. ДДПФ от $h(j, l)$ является частотным коэффициентом передачи линейной системы:

$$B_{n,m} = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \left[\exp\left(\frac{2\pi i j n}{N}\right) \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} h(j, l) \exp\left(\frac{2\pi i l m}{N}\right) \right].$$

Спектр искаженного изображения равен $C_{m,n} = A_{m,n} B_{m,n}$. Для восстановления изображения выполним инверсную фильтрацию и найдем оценку $A_{m,n}^* = C_{m,n} / B_{m,n}$. Здесь предполагается, что обратная задача является корректной, в противном случае следует использовать регуляризацию решения. Далее выполняется обратное ДДПФ:

$$f^*(i, l) = \sum_{m=0}^{N-1} \left[\exp\left(\frac{-2\pi i j m}{N}\right) \sum_{n=0}^{N-1} A_{m,n}^* \exp\left(\frac{-2\pi i l n}{N}\right) \right].$$

Минимальные кубатурные формулы, точно интегрирующие тригонометрические многочлены степени не большей, чем d , могут иметь различный вид. Имея в виду, что ниже будет использован алгоритм быстрого преобразования Фурье по Кули–Тьюки, положим число узлов минимальной кубатурной формулы равным 2^M . При этом d должно быть нечетным; пусть $d = 2k+1$, минимальное число узлов составляет $N^* = 2(k+1)^2$. Сравним число узлов такой минимальной кубатурной формулы и КМ одинаковой тригонометрической степени d . Для КМ имеем $d = N-1$. Таким образом, при КМ число узлов $N^2 = 4(k+1)^2$, т. е. в два раза больше.

В соответствии с [4] при $d = 2k+1$ выберем в качестве узлов минимальной кубатурной формулы точки с координатами

$$x_j = \left\{ \frac{j}{N^*} \right\}, y_l = \left\{ \frac{l}{N^*} \right\},$$

$$N^* = 2(k+1)^2, l = (2k+1)j, 0 \leq j \leq N^*-1, \quad (5)$$

фигурные скобки $\{ \}$ означают дробную часть числа. Таким образом, координаты узлов зависят от одного индекса j . Решетка, соответствующая (5) (рис. 1, б), содержит узлы, расположенные вдоль параллельных прямых и достаточно равномерно покрывает изображение. Узлы отмечены черными точками. Параллельные линии, проходящие через узлы решетки (на рис. 1, б показана одна из них), представляют собой некоторые отрезки прямой. Так как $f(x, y)$ – периодическая функция двух переменных с периодом 1 по каждой, то отрезки можно выстроить вдоль одной прямой, на которую укладываются все узлы, т. е. сформировать вектор $f(j)$. При работе с этим вектором можно применять алгоритм одномерного дискретного преобразования Фурье. Используя одномерное преобразование Фурье, мы обходим каждый узел один раз, а при КМ – два раза. Совокупность узлов, соответствующую формуле (5), далее будем называть наклонной решеткой. Для ввода фотоизображений в компьютер по наклонной решетке понадобится специальный сканер.

Прямое и обратное преобразование Фурье от наклонной решетки вычисляются по обычным формулам одномерного преобразования. Вместо коэффициента $A_{n,m}$ получаем A_n :

$$A_n = \frac{1}{N^*} \sum_{j=0}^{N^*-1} f(j) \exp\left(\frac{2\pi i n j}{N^*}\right),$$

обратное преобразование дает значение яркости в j -м узле:

$$f(j) = \sum_{n=0}^{N^*-1} A_n \exp\left(\frac{-2\pi i n j}{N^*}\right).$$

При построении изображения $f(j, l)$ по вектору $f(j)$ координата узла l задается как $l = j(2k + 1)$.

Определим погрешности вычисления коэффициентов $A_{n,m}$ по КМ (расстановка узлов по квадратной решетке) и коэффициентов A_n по наклонной решетке в сравнении с точными коэффициентами $a_{n,m}$, вычисляемыми по формуле (2). Используется преобразование Фурье без упрощающих алгоритмов, число узлов подбирается таким, чтобы для КМ и наклонной решетки оно было приблизительно одинаковым.

Рассмотрим тестовое изображение «шахматное поле», содержащее 5 белых и 4 черных квадрата, размер стороны квадрата равен 1/3 размера стороны всего поля (рис. 1, в). Белому полю присваивается значение 0, черному 1. В первом столбце таблицы приведено число узлов N^2 квадратной решетки, во втором – значения среднеквадратичного отклонения S коэффициентов Фурье для КМ от точных значений, в третьем столбце – число узлов N^* для наклонной решетки и в четвертом – значения среднеквадратичного отклонения S коэффициентов Фурье для наклонной решетки.

Анализ данных таблицы показывает, что значения среднеквадратичного отклонения коэффициентов Фурье для наклонной решетки приблизительно такие же, как для квадратной решетки; тенденция к уменьшению погрешности с ростом числа узлов более стабильна, чем при КМ.

Наклонная решетка была использована при восстановлении расфокусированного изображения путем инверсной фильтрации (рис. 2). Вычислялся спектр исходного изображения A_n , коэффициент передачи линейной системы B_n задавался в виде

$$B_n = \frac{1}{1 + an^2}.$$

Спектр расфокусированного изображения имеет вид $C_n = A_n \cdot B_n$, оценка восстановленного спектра при инверсной фильтрации равна $A_n^* = C_n / B_n$. На рис. 2, а приведено исходное изображение, полученное при дистанционном зондировании Земли с космического носителя, на рис. 2, б – расфокусированное изображение. На рис. 3 показаны действительная часть одномерного спектра исходного изображения (а), мнимая часть (б) и коэффициент передачи линейной системы (в). Число узлов при обработке составило 32 768, что соответствует $k = 127$ и $d = 255$. Если использовать классический метод с квадратной решеткой, то число узлов составило бы 65 576. При обработке изображений (см. рис. 2) использовался одномерный алгоритм Кули–Тьюки, число операций сложения и умножения 491 520. Если использовать КМ и дву-

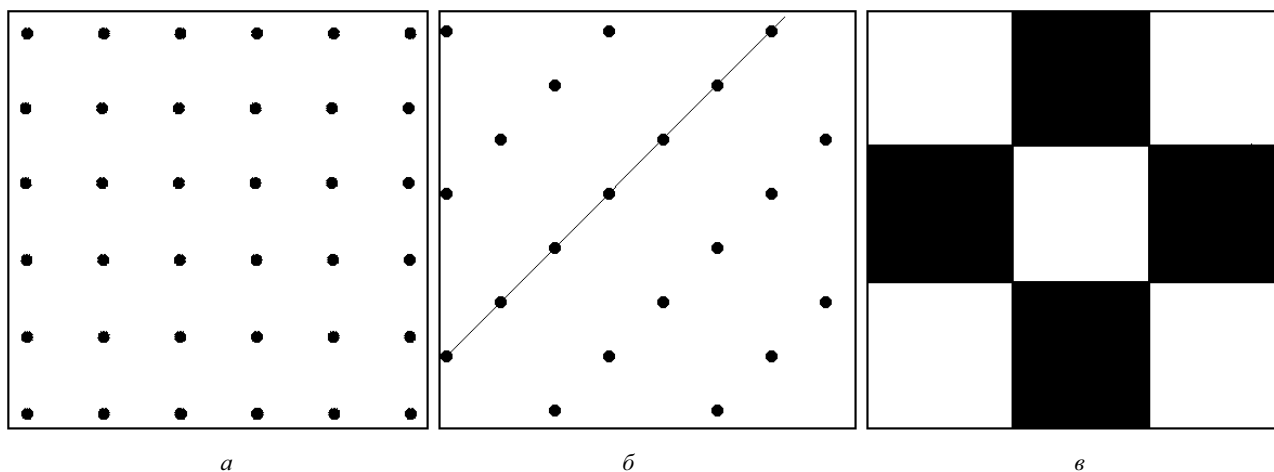


Рис. 1. Квадратная решетка (а); наклонная решетка при $k = 1$ (б); тестовое изображение (в)

Погрешность при вычислении коэффициентов Фурье

Классический метод		Наклонная решетка	
N^2	S	N^*	S
441	0,010 412	450	0,005 406
529	0,003 485	512	0,005 285
625	0,003 345	648	0,004 123
729	0,007 225	722	0,004 055
841	0,002 487	882	0,003 278
961	0,002 407	968	0,003 236
1 089	0,005 387	1 058	0,003 032
1 225	0,001 888	1 250	0,002 660
1 369	0,001 837	1 352	0,002 511
1 521	0,004 214	1 568	0,002 236
1 681	0,001 496	1 682	0,002 124

мерный алгоритм Кули–Тьюки, то число операций составило бы 1 048 576.

В этом примере изображение восстановилось с точностью до машинной погрешности.

Библиографические ссылки

1. Носков В. М., Schmid H. J. Кубатурные формулы высокой тригонометрической точности // Журн. вычислит. математики и мат. физики. 2004. Т. 44. № 5. С. 793–802.

2. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М. : Мир, 1990.

3. Осипов Н. Н. О минимальных кубатурных формулах с тригонометрическим d -свойством в двумерном случае // Журн. вычислит. математики и мат. физики. 2005. Т. 45. № 1. С. 8–16.

4. Kashkin V. B., Noskov M. V., Osipov N. N. Application of Latticed Cubature Formulas to 2D Discrete Fourier Transform // Pattern Recognition and Image Analysis. 2002. Vol. 12. № 4. P. 397–399.

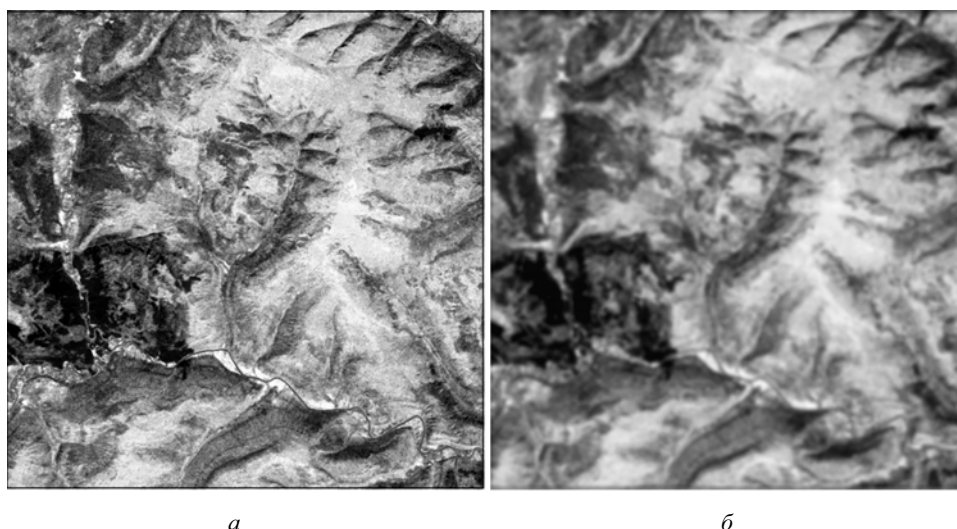


Рис. 2. Исходное (а) и расфокусированное (б) изображение

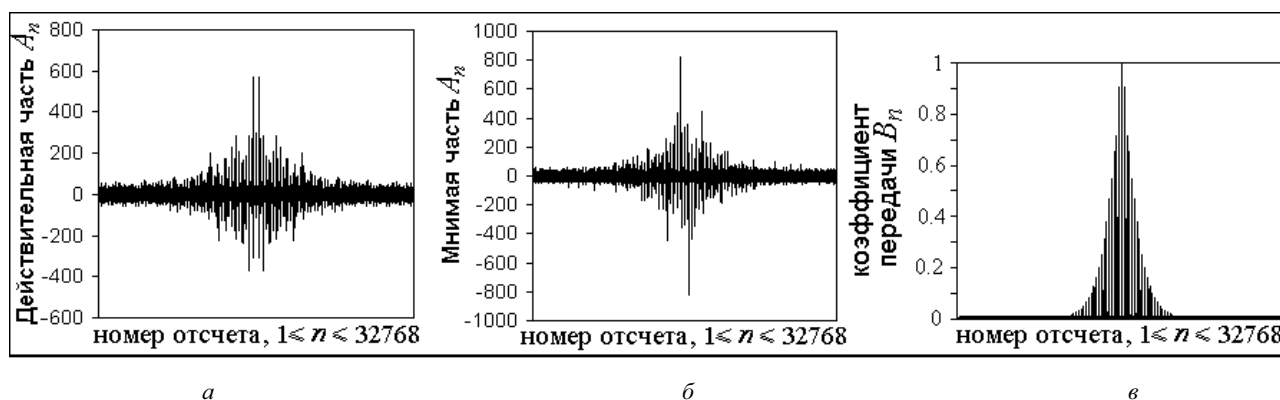


Рис. 3. Действительная (а) и мнимая (б) части спектра A_n исходного изображения, полученные с применением наклонной решетки, коэффициент передачи линейной системы B_n (в)

V. B. Kashkin, O. I. Kiselev

FAST PROCESSING OF AEROSPACE IMAGES USING MINIMAL CUBATURE FORMULAS

The authors suggest algorithm of processing of 2D aerospace images with the use of 1D discrete Fourier transform based on lattice cubature formulas which are exact on trigonometric polynomials.

Keywords: discrete Fourier transform, minimal cubature formulas.

© Кашкин В. Б., Киселев О. И., 2011

К. А. Кондратьев, Н. Н. Шумаков

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТЬЮ В БОРТОВОМ ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СПУТНИКОВ СВЯЗИ И НАВИГАЦИИ

Рассматриваются основные принципы управления динамической памятью в бортовом программном обеспечении спутников связи и навигации. Предлагаются изменения, повышающие эффективность и надежность управления и распределения динамической памяти.

Ключевые слова: управление динамической памятью.

Одной из основных функций, выполняемой любой операционной системой (ОС), является управление памятью, а именно: контроль и слежение за свободной частью памяти, выделение запрашиваемой процессами или задачами требуемой им памяти, а также освобождение выделенной ранее памяти в процессе работы или после ее завершения.

В бортовом программном обеспечении (БПО) динамической памятью является зарезервированная область памяти в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ), используемая для выделения памяти задачам в процессе их выполнения. Эту область памяти также называют «кучей» (pool или heap). Память выделяется для сохранения стеков задач или динамического создания системных объектов, в том числе дескрипторов фрагментов памяти.

При реализации алгоритмов выделения памяти неизбежно возникают проблемы оптимизации процесса поиска свободной памяти, фрагментации памяти, защиты структур управления динамической памятью от искажения.

Рассмотрим некоторые аспекты реализации существующих систем, алгоритмов и стратегий поиска свободных фрагментов, а также пути разрешения проблем фрагментации памяти и оптимизации основных операций работы с динамической памятью.

В зависимости от решаемой задачи используются различные алгоритмы поиска свободного фрагмента памяти. В случае если программы требуют фрагментов памяти фиксированной величины, алгоритмы поиска свободного фрагмента максимально упрощены [1]. Но если запрашиваются блоки различных величин и при этом они освобождаются в свободном порядке, то возникает проблема фрагментации свободного пространства.

Каждому выделяемому фрагменту памяти ставится в соответствие дескриптор, который описывает размер блока и представляет другую дополнительную информацию. Дескриптор может быть как отдельным объектом в памяти, так и частью самого выделяемого фрагмента, при этом он может быть в виде заголовка фрагмента или окружать фрагмент с его начала и окончания (например, при использовании алгоритма парных меток) [2].

Иногда свободные фрагменты памяти объединяются в двунаправленный список, что является полезным при объединении двух стоящих рядом свободных фрагментов.

Поиск подходящего фрагмента из списка может вестись по двум принципам:

– нахождения первого подходящего фрагмента, если размер свободного фрагмента меньше требуемого или равен ему;

– нахождения наиболее подходящего фрагмента, если размер фрагмента максимально близок к требуемому.

Принцип нахождения первого подходящего фрагмента порождает специфическую проблему. Если каждый раз просматривать список с одного и того же места, то крупные блоки в начале списка будут делиться чаще. Соответственно мелкие блоки будут иметь тенденцию скапливаться в начале списка, что увеличивает среднее время поиска свободного фрагмента в дальнейшем. Эту проблему может разрешить поочередный поиск по двум направлениям либо с применением кольцевого списка фрагментов, при котором поиск нового фрагмента начинается со следующего после последнего фрагмента, найденного при предыдущем поиске.

Принцип нахождения наиболее подходящего фрагмента требует пересмотра всей очереди, кроме того, он повышает уровень фрагментации памяти, так как каждый раз при выделении памяти из максимально подходящего фрагмента остается максимально малый свободный «хвост». Таким образом, этот принцип порождает большое количество мелких свободных фрагментов, мало пригодных при дальнейшем процессе выделения памяти.

В ситуациях когда требуется выделять фрагменты памяти нескольких фиксированных размеров, принцип поиска наиболее подходящего фрагмента более эффективен. В остальных ситуациях рекомендуется использовать принцип поиска первого подходящего фрагмента.

Как мы уже отмечали, одной из проблем, возникающих при организации динамической памяти, является проблема фрагментации памяти.

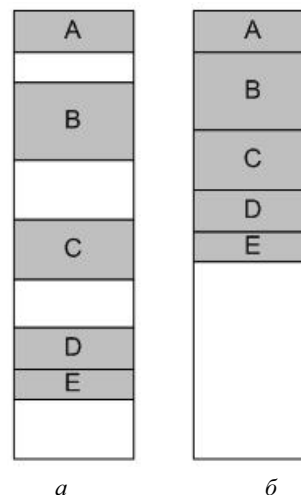


Рис. 1. Дефрагментация (уплотнение) памяти:
а – память до уплотнения; б – память после уплотнения

Разрешить эту проблему можно с помощью процесса дефрагментации (рис. 1), в рамках которого применяются две операции:

- слияние – объединение двух рядом стоящих свободных фрагмента;
- уплотнение – организация перемещения занятых фрагментов памяти в последовательную цепочку [3].

Уплотнение «кучи» является достаточно медленной операцией, однако она укорачивает ссылочные цепочки фрагментов, что положительно сказывается на производительности при дальнейшей работе с ней [4].

В объектно-ориентированных языках организуется специальный метод, называемый «сборкой мусора», суть которого состоит в контроле над ненужными объектами в динамической памяти. Фрагмент памяти считается свободным, если нет ни одной ссылки, указывающей на объект, память под который была выделена в виде данного фрагмента. При этом процесс «сборки мусора» проводится только в момент, когда в «куче» обнаружено отсутствие свободной области памяти требуемого размера [5].

В ряде операционных систем, в частности семейства Windows, допускается использование нескольких «куч» памяти, что позволяет получить ряд преимуществ в зави-

симости от приложений и структур данных, которые они помещают в эти «кучи» [6]. При организации нескольких «куч» памяти вводятся дескрипторы, которые описывают их размер, максимально выделяемый размер фрагментов памяти, параметры доступа и другие особенности, связанные со специализацией «куч» (рис. 2).

В целях повышения эффективности процесса выделения динамической памяти «кучи» специализируют по определенным критериям. Основным критерием специализации является размер выделяемых фрагментов. Если заранее известно, что из «кучи» будут выделяться фрагменты строго фиксированной длины, то появляется возможность построить алгоритмы быстрого поиска свободного фрагмента. И даже в минимальном случае специализация областей памяти на «кучи» для мелких и крупных фрагментов позволит провести их дефрагментацию и повысить скорость выделения памяти.

При организации поиска в «куче» памяти свободного фрагмента подходящего размера в БПО спутников связи и навигации применяется принцип поиска до нахождения первого подходящего фрагмента, обеспечивающий быстрое нахождение свободного фрагмента. Если выделение нового фрагмента оставит свободную область раз-

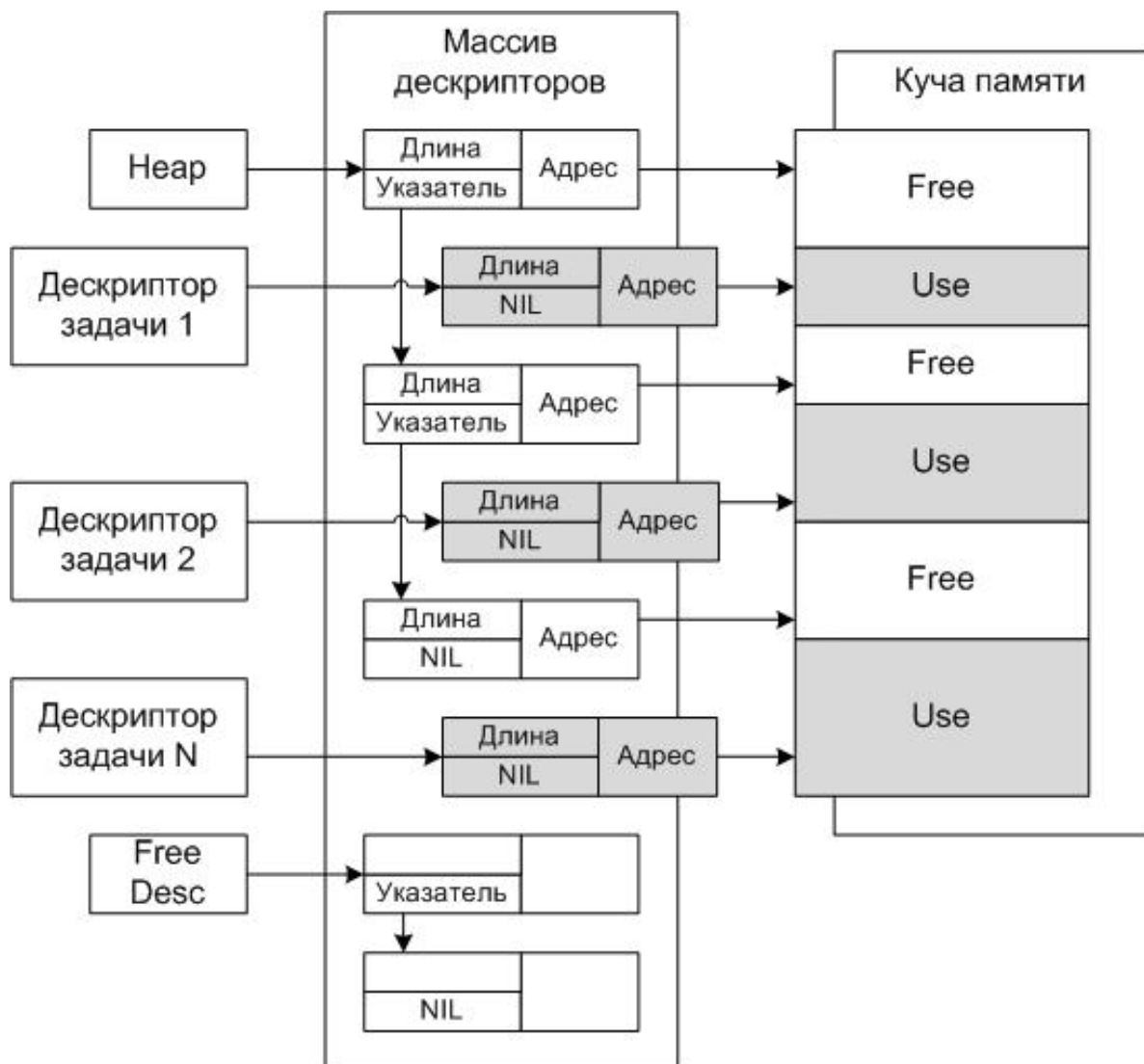


Рис. 2. Структура «кучи» памяти при организации фрагментов с дескрипторами

мером меньше 128 байт, то фрагмент памяти будет выделяться полностью без деления на область требуемого размера и остатка от нее.

Динамическая память в БПО используется:

- в ОС для выделения памяти под организацию стека при ее запуске на выполнение;
- для хранения динамических данных во время выполнения прикладных задач;
- для поддержки конструкций языка Модуля-2, работающих с динамической памятью.

Для организации работы с динамической памятью ОС организует следующие объекты:

- MemoryHeap – непосредственно выделенную область динамической памяти;
- Array_DMem – массив дескрипторов фрагментов памяти;
- Heap – адрес начала списка фрагментов свободной динамической памяти;
- FreeDesc – адрес начала списка свободных дескрипторов фрагментов памяти.

Фрагментом памяти называется область памяти, описываемая дескриптором. В дескрипторе фрагмента находятся адрес расположения области памяти и ее длина. Все дескрипторы фрагментов собраны в массиве дескрипторов Array_DMem.

Свободная динамическая память представлена в виде однонаправленного списка фрагментов свободной памяти, упорядоченных по возрастанию адресов. Адрес начала списка определяется переменной heap.

Свободные (незадействованные) дескрипторы фрагментов также организованы в однонаправленный список, адрес начала которого находится в переменной FreeDesc. При необходимости задействовать дескриптор фрагмента он берется первым из списка. При возврате дескриптора после использования он ставится первым элементом.

Операционная система спутников связи и навигации реализует следующие основные функции при работе с динамической памятью:

- выделение памяти;
- возврат памяти;
- инициализацию;
- защиту от искажения;
- документирование;
- настройку для конкретного применения.

Процесс выделения памяти начинается с поиска свободного фрагмента, размер которого больше или равен запрашиваемому. Найденный фрагмент корректируется путем уменьшения размера описываемой им памяти, выделяемой с конца описываемой им области, после чего выделенная область оформляется свободным дескриптором фрагментов памяти. В дескрипторе задачи указывается адрес дескриптора полученного фрагмента. Для борьбы с фрагментацией динамической памяти вводится константа «Размер минимального свободного фрагмента». Если выделение нового фрагмента памяти порождает свободную часть, размер которой меньше указанной константы, то фрагмент памяти предоставляется задаче полностью, без деления на две части.

При возврате памяти после ее использования дескриптор фрагмента ставится в список свободных в соот-

ветствии с адресом области, которую он описывал. При этом стоящие подряд свободные фрагменты сливаются, формируя один дескриптор свободного фрагмента памяти, описывающий область суммарного размера, и один незадействованный дескриптор, возвращаемый в список свободных дескрипторов.

Операция инициализации динамической памяти обеспечивает начальную подготовку объектов управления памяти к работе. При инициализации динамической памяти в БПО вся область динамической памяти описывается одним фрагментом свободной памяти (список Heap из одного элемента). Остальные дескрипторы фрагментов организуются в список незадействованных.

При работе системы управления динамической памятью ее данные контролируются на корректность, адреса дескрипторов фрагментов проверяются на принадлежность массиву, а содержимое фрагментов – на корректность адреса и длины описываемой им области. При обнаружении искажения выполняется инициализация системы управления динамической памятью с формированием контрольно-отчетной информации, при этом все задачи снимаются с обслуживания.

В процессе работы системы управления динамической памятью формируется следующая контрольно-отчетная информация:

- размер используемой памяти из «кучи»;
- максимальная величина этой памяти;
- число выделенных фрагментов памяти;
- максимальное число выделенных фрагментов памяти.

Система управления памятью при генерации ОС настраивается для конкретного применения путем указания констант настроек:

- размера «кучи» памяти;
- числа дескрипторов фрагментов памяти;
- минимального размера выделяемых фрагментов.

Существующая ОС достаточно хорошо реализует все основные функции по управлению динамической памятью, однако при всех ее достоинствах она ограничена в количестве дескрипторов фрагментов памяти, что приводит к невозможности выделения нового фрагмента даже в случае наличия свободной памяти.

Разрешить эту проблему может такая схема организации фрагментов памяти, при которой дескриптор фрагмента является частью самого фрагмента в виде его заголовка (рис. 3). Однако основное функциональное назначение динамической памяти в БПО состоит в выделении памяти под стеки запускаемых на выполнение задач, в случае же переполнения стека задачей происходит разрушение списка фрагментов, так как записываемая в стек информация затирает заголовок идущего следом фрагмента, что приводит к нарушению вычислительного процесса. Поэтому в настоящее время такая схема организации динамической памяти в БПО не применяется. Однако ее можно использовать, создав следующие «кучи»:

- системную «кучу» для динамического создания системных объектов, в том числе дескрипторов фрагментов памяти с организацией фрагментов с заголовками. Системная «куча» эффективнее с точки зрения скорости выделения и надежнее с точки зрения отсутствия опасности ее искажения;

– «кучу» для стеков задач и запрашиваемой пользователями памяти, которая организуется по существующей схеме с дескрипторами системной «кучи».

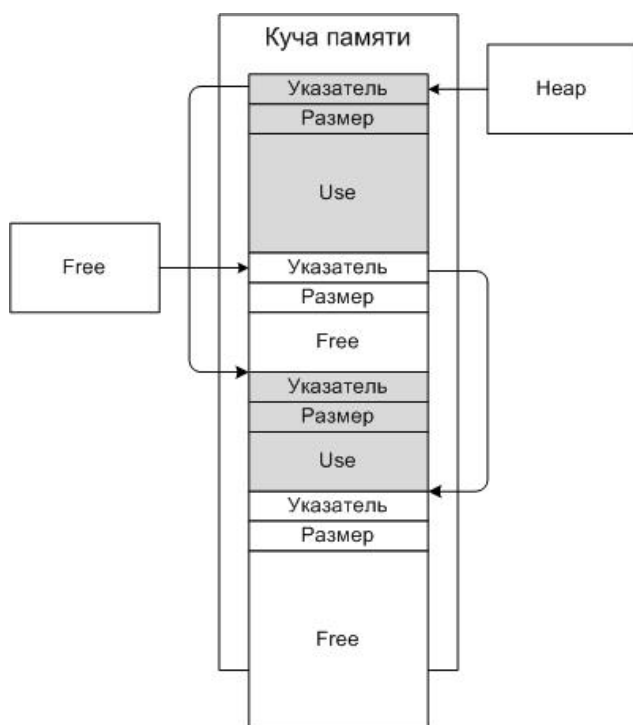


Рис. 3. Структура «кучи» памяти с организацией фрагментов с заголовками

В процессе проведения испытаний были получены качественные характеристики эффективности рассматриваемых схем организации динамической памяти, которые свидетельствуют о преимуществе схемы с применением специализации «куч» над схемой организации динамической памяти с применением фрагментов с дескрипторами (см. таблицу).

Схема специализации с разделением динамической памяти на «кучу» для стеков и «кучу» для системных целей приводит к ускорению работы с динамической памятью за счет уменьшения длины списков выделенных фрагментов, а также разрешает проблему невозможности выделения памяти из «кучи» в случае наличия в ней свободной области требуемого размера при отсутствии свободного дескриптора фрагмента.

Библиографические ссылки

1. Прагг Т., Зелковиц М. Языки программирования: разработка и реализация / под общ. ред. А. Матросова. СПб. : Питер, 2002.
2. Иртегов Д. В. Введение в операционные системы. 2-е изд. СПб. : БХВ-Петербург, 2008.
3. Цикритзис Д., Бернштейн Ф. Операционные системы. М. : Мир, 1977.
4. С# 2005 и платформа .NET 3.0 для профессионалов / К. Нейгел, Б. Ивсен, Д. Глин и др. М. : Вильямс, 2008.
5. Рихтер Дж. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 2.0 на языке С#. Мастер-класс. СПб. : Питер, 2007.
6. Харт Д. М. Системное программирование в среде Windows. 3-е изд. М. : Вильямс, 2005.

Временные характеристики функций библиотек обслуживания памяти, реализующие схемы организации динамической памяти (значения приведены в тактах)

Функция	Схема с применением фрагментов с дескрипторами			Схема с применением специализации «куч»		
	Мин.	Ном.	Макс.	Мин.	Ном.	Макс.
Запрос памяти	2 199	3 210	3 535	2 184	2 520	3 140
Освобождение памяти	3 454	3 454	3 891	3 015	3 015	3 580
Инициализация	5 004			5 052		

С. А. Kondratev, N. N. Shumakov

DYNAMIC MEMORY CONTROL IN NAVIGATION AND COMMUNICATION SATELLITES ON-BOARD SOFTWARE

The article considers the basic principles of dynamic memory control in satellites on-board software, and proposes some changes increasing effectiveness and reliability of dynamic memory control and allocation.

Keywords: dynamic memory control.

© Кондратьев К. А., Шумаков Н. Н., 2011

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАКУУМНОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ В ТОКЕ ВОДЯНОГО ПАРА

Для оценки эффективности вакуумной дистилляции в токе водяного пара предложен такой показатель, как индивидуальная скорость массопереноса (отгонки). Получен общий вид выражения для индивидуальной скорости отгонки, разработаны процедуры ее вычисления, исследовано влияние на нее различных факторов.

Ключевые слова: дистилляция, массоперенос, эффективность.

При дистилляции многокомпонентных смесей в токе водяного пара естественной является постановка вопроса о выборе показателя эффективности процесса и поиска условий, обеспечивающих максимальную эффективность. Используемые в расчетной практике величины: расход пара, содержание компонента в паровой фазе, коэффициент насыщения паровой фазы, конечное содержание отгоняемого компонента в жидкости или его убыль – не показывают в полной мере эффективность дистилляции.

Во многих случаях показатели эффективности строятся по принципу соотношения величин, отражающих полезный эффект и затратную сторону процесса. Для оценки эффективности отгонки различных компонентов в токе водяного пара авторами предлагается ввести показатель, названный индивидуальной скоростью массопереноса (отгонки) компонентов:

$$S = \frac{d(x_a / x_{a0})}{d(n_p / n_g)}, \quad (1)$$

где S – индивидуальная скорость массопереноса; x_a , x_{a0} – текущая и начальная мольные концентрации переходящего компонента в жидкой фазе; n_p , n_g – числа молей пара и дистиллируемой смеси.

По своей сущности индивидуальная скорость массопереноса – это относительная убыль переходящего компонента в жидкой фазе (полезный эффект) в расчете на единицу относительного расхода инертного носителя – пара (затратная сторона процесса). Расход водяного пара во многом определяет энергетические затраты на дистилляцию, в том числе и связанные с эксплуатацией вакуумной техники, а также ее стоимость и массогабаритные характеристики.

Общий вид выражения для индивидуальной скорости отгонки можно получить на основе уравнения материального баланса дистилляции, законов Рауля и Дальтона, коэффициента насыщения паровой фазы отгоняемым компонентом и коэффициента активности компонента в жидкости, а также зависимости давления насыщения переходящего компонента от температуры:

$$S = \frac{c}{P_0} \cdot \exp(-B/T) \cdot \phi \cdot \delta, \quad (2)$$

где ϕ – коэффициент насыщения паровой фазы переходящим компонентом; δ – коэффициент активности переходящего компонента в жидкости; T – температура; c и B – индивидуальные коэффициенты переходящего компонента; P_0 – давление над поверхностью дистиллируемой жидкости.

Показатель S позволяет сравнивать эффективность отгонки различных компонентов в различных условиях и осуществлять поиск оптимальных условий проведения

процесса, если известны величины, входящие в выражение (2), и их зависимость от параметров процесса (температуры, давления, расходов фаз, конструктивных характеристик аппаратуры и др.).

Авторами проведены исследования дистилляции в токе водяного пара в барботажном слое [1–4], в пленке [5] и в неизотермических условиях [6–8], разработаны и апробированы соответствующие математические модели.

Выражение для коэффициента насыщения паровой фазы в барботажном слое получено в [2]:

$$\phi = \sqrt{\pi \cdot K_A \cdot K_H \cdot K_{\tau H}} \cdot \exp(K_A \cdot K_H \cdot K_{\tau H}) \times \left(\operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{K_A \cdot K_{\tau H}}{K_H}} + \sqrt{K_A \cdot K_H \cdot K_{\tau H}} \right) - \operatorname{erf} \left(\sqrt{K_A \cdot K_H \cdot K_{\tau H}} \right) \right). \quad (3)$$

Здесь

$$K_A = \frac{P_0}{P_A}, \quad K_H = \frac{P_0}{\Delta P}, \quad K_{\tau H} = \frac{\beta \cdot H}{2 \cdot w},$$

где H – высота барботажного слоя; w – кинетический коэффициент отгонки; β – средняя скорость прохождения пара через барботажный слой; ΔP – перепад давлений по высоте слоя; P_0 , P_A – давления над поверхностью жидкости в аппарате и паров чистого переходящего компонента при температуре дистилляции соответственно;

$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\pi} \int_0^z \exp(-t^2) \cdot dt$ – интеграл вероятности.

Обработка экспериментальных данных показывает, что численные значения соотношения $\frac{\beta}{2 \cdot w}$ близки к единице, а величину P_A можно рассчитать по выражению

$$P_A = c \cdot \exp \left(-\frac{B}{T} \right). \quad (4)$$

Также определены численные значения коэффициентов C и B для различных компонентов дистиллируемых смесей ($c = \exp(C)$): для стеариновой кислоты $C = 23,14$, $B = 10\,505$; для миристиновой кислоты $C = 22,15$, $B = 9\,243$; для лауриновой кислоты $C = 21,05$, $B = 8\,255$; для метилундецикетона $C = 19,76$, $B = 6\,977$.

Выражение для коэффициента насыщения паровой фазы при дистилляции в пленке получено в [5]:

$$\phi_n = \frac{K_{An}}{K_{\mu} \cdot \delta} \cdot \left(1 - \frac{1}{K_{\tau n} + 1} \right). \quad (5)$$

Здесь

$$K_{An} = \frac{P_{0n}}{P_{An}}, \quad K_{\mu} = \frac{L}{G}, \quad K_{\tau n} = \frac{\beta_n \cdot \rho \cdot \Delta \cdot H_n}{\Gamma},$$

где P_{An} – давление паров чистого компонента при температуре дистилляции в пленочной зоне; P_{0n} – давление в пленочной зоне аппарата; G, L – мольные расходы жидкой и паровой фаз соответственно; Γ – массовый расход жидкости в расчете на единицу длины смоченного периметра; Δ – толщина пленки; ρ – плотность жидкости; β_n – кинетический коэффициент отгонки в пленочной зоне; H_n – высота пленочной зоны.

Кроме того, получены данные по коэффициентам активности ряда компонентов дистиллируемых смесей и влиянию на них параметров процесса [9].

Результаты исследований позволили разработать расчетные процедуры для определения индивидуальной скорости отгонки компонентов при заданных условиях проведения процесса. Эти процедуры были использованы для определения влияния различных факторов на индивидуальные скорости массопереноса (рис. 1–4).

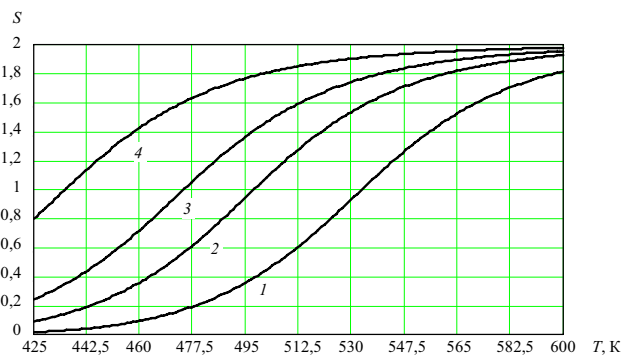


Рис. 1. Зависимости индивидуальных скоростей массопереноса компонентов от температуры дистилляции:
1 – стеариновая кислота; 2 – миристиновая кислота;
3 – лауриновая кислота; 4 – метилундецилкетон

При изучении влияния температурного фактора на отгонку в барботажном слое установлено, что для каждого компонента можно выделить три температурных интервала (см. рис. 1):

- на первом интервале с ростом температуры наблюдается ускоренный рост индивидуальной скорости массопереноса;
- на втором интервале темп роста индивидуальной скорости массопереноса с ростом температуры стабилизируется;
- на третьем интервале этот рост замедляется, достигая некоторого максимально возможного для данных условий значения.

Эти температурные интервалы различны для компонентов с разной летучестью. Однако по мере роста температуры индивидуальные скорости массопереноса этих компонентов сближаются и стремятся к некоторому общему предельному для заданных условий значению.

Влияние остаточного давления в аппарате на индивидуальные скорости массопереноса существенно для компонентов с малой летучестью. Рост остаточного давления приводит к снижению индивидуальных скоростей массопереноса.

С ростом высоты барботажного слоя наблюдается рост индивидуальных скоростей массопереноса, а в дальнейшем – их стабилизация на некотором уровне, харак-

терном для каждого компонента при заданных условиях (см. рис. 2). Степень дифференциации стабилизированных скоростей массопереноса в зависимости от летучести компонентов довольно велика. По мере снижения толщин барботажного слоя происходит сближение скоростей массопереноса у компонентов с различной летучестью и, в конечном счете, слияние всех кривых в единую зависимость.

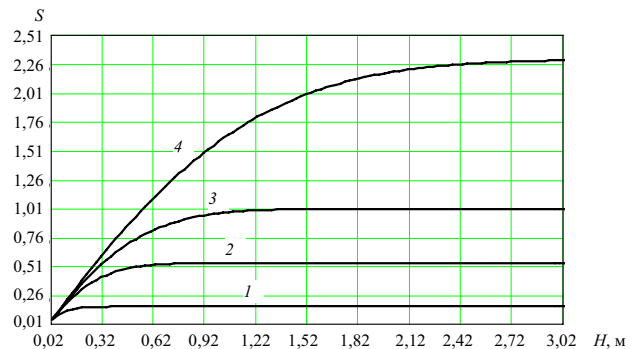


Рис. 2. Зависимости индивидуальных скоростей массопереноса компонентов от высоты барботажного слоя:
1 – стеариновая кислота; 2 – миристиновая кислота;
3 – лауриновая кислота; 4 – метилундецилкетон

Влияние температуры и давления на индивидуальные скорости массопереноса при дистилляции в пленочной зоне аналогично влиянию этих факторов на индивидуальные скорости массопереноса в барботажном слое. При этом предельные значения индивидуальных скоростей массопереноса в пленочной зоне значительно (на порядок) ниже, чем в барботажном слое. Однако по мере снижения температуры и летучести компонента происходит сближение индивидуальных скоростей массопереноса в барботажном слое и в пленке.

По мере роста высоты пленочной зоны H_n индивидуальные скорости массопереноса компонентов увеличиваются до максимальных при заданных условиях значений, достижимых при использовании многосекционных аппаратов (см. рис. 3). При уменьшении высоты этой зоны до величины порядка 1 м индивидуальные скорости массопереноса компонентов с различной летучестью становятся практически одинаковыми.

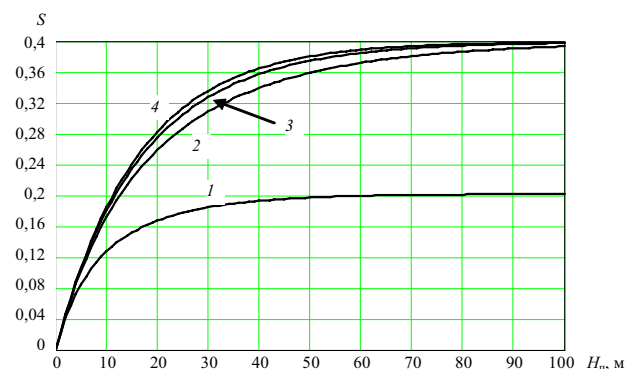


Рис. 3. Зависимости индивидуальных скоростей массопереноса различных компонентов от высоты пленочной зоны:
1 – стеариновая кислота; 2 – миристиновая кислота;
3 – лауриновая кислота; 4 – метилундецилкетон

Влияние отношения кинетического коэффициента отгонки K_{μ} к удвоенной скорости барботажа на индивидуальные скорости массопереноса подобно влиянию высоты барботажного слоя. По мере увеличения расхода паровой фазы, т. е. роста K_{μ} , происходит снижение и сближение индивидуальных скоростей массопереноса компонентов с различной летучестью (см. рис. 4). При снижении K_{μ} для каждого компонента с некоторого момента достигается максимальная скорость массопереноса при полном насыщении паровой фазы, когда коэффициент насыщения равен единице. При этом расходы паровой фазы будут значительно меньше рекомендуемых значений.

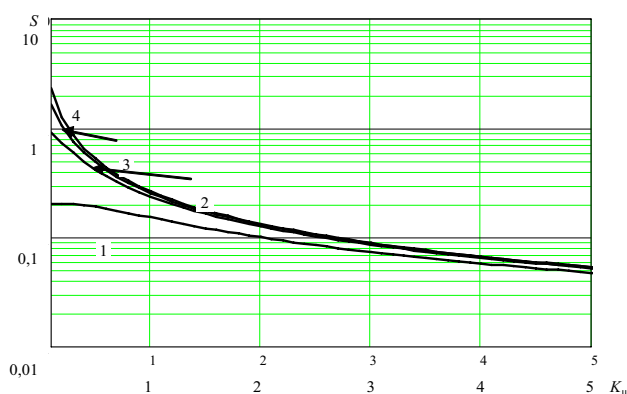


Рис. 4. Зависимости индивидуальных скоростей массопереноса различных компонентов от соотношений расходов паровой и жидкой фаз K_{μ} в пленочной зоне дистилляционного аппарата:

1 — стеариновая кислота; 2 — миристиновая кислота;
3 — лауриновая кислота; 4 — метилундецилкетон

Таким образом, получены следующие результаты:

- для оценки эффективности вакуумной дистилляции в токе водяного пара предложено использовать величину, представляющую относительную убыль переходящего компонента в жидкой фазе (полезный эффект) в расчете на единицу относительного расхода пара (затратная сторона процесса), — индивидуальную скорость массопереноса (отгонки);
- определен общий вид выражения для индивидуальной скорости отгонки и разработаны процедуры для ее вычисления;
- исследовано влияние различных факторов на индивидуальную скорость отгонки компонентов с различной степенью летучести при дистилляции в барботажном слое и в пленке.

Эти результаты могут быть использованы при моделировании дистилляционного процесса, проектировании аппаратуры для дистилляции и разработки оптимизационных процедур.

Библиографические ссылки

1. Белобородов В. В., Коновалов М. Л. Кинетика дистилляции с паром (газом) в слое // Инж.-физ. журн. 1994. Т. 67, № 3–4. С. 255–257.
2. Коновалов М. Л. Массоперенос при дистилляции в барботажном слое // Вестник КрасГАУ. 2006. № 10. С. 62–69.
3. Коновалов М. Л. Гидродинамика барботажного слоя в условиях вакуумной дистилляции // Вестник КрасГАУ. 2007. № 1. С. 62–69.
4. Коновалов М. Л., Белобородов В. В. Моделирование процессов дистилляции многокомпонентных смесей // Тр. 4-го Мин. междунар. форума по тепломассообмену. Т. 11 : Тепломассообмен в химико-технологических устройствах / Ин-т тепломассообмена им. А. В. Лыкова. Минск, 2000. С. 161–165.
5. Коновалов М. Л., Белобородов В. В. Математическая модель и закономерности дезодорации растительных масел в пленке // Изв. вузов. Серия «Пищевая технология». 1996. № 1–2. С. 63–65.
6. Коновалов М. Л., Белобородов В. В. Кинетика неизотермической дистилляции многокомпонентных смесей в токе водяного пара // Тр. 4-го Мин. междунар. форума по тепломассообмену. Т. 10 : Тепломассообмен в энергетических устройствах и энергооборудовании / Ин-т тепломассообмена им. А. В. Лыкова. Минск, 1996. С. 97–100.
7. Коновалов М. Л. Неизотермическая дистилляция в токе водяного пара (математическое моделирование) // Инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья в обеспечении качества жизни: наука, образование, производство : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2008. С. 272–276.
8. Коновалов М. Л. Закономерности неизотермической дистилляции в токе водяного пара // Инновационные технологии переработки сельскохозяйственного сырья в обеспечении качества жизни: наука, образование, производство : материалы Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2008. С. 277–281.
9. Коновалов М. Л., Белобородов В. В. Коэффициенты активности компонентов растительных масел при дезодорации и дистилляционной нейтрализации // Химия раст. сырья. 2002. № 3. С. 25–28.

M. L. Kononov, O. V. Rozanov

THE EFFECTIVENESS OF VACUUM DISTILLATION IN A STREAM OF VAPOR

To evaluate the effectiveness of vacuum distillation in a stream of vapor, the authors offer the index – the rate of individual mass transfer (stripping). The article also presents the general form for the expression of individual stripping speed along with the procedures developed for its calculation, and the investigated influence of various factors.

Keywords: distillation, mass transfer, effectiveness.

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВЫХ РЕКУРСИВНЫХ ФИЛЬТРОВ

Приведены как необходимые, так и достаточные условия устойчивости цифрового рекурсивного фильтра в терминах, связанных с понятием амобы алгебраической поверхности. Получено достаточное условие устойчивости двумерного фильтра при некоторых дополнительных ограничениях на разностный оператор фильтра.

Ключевые слова: цифровой рекурсивный фильтр, амоба алгебраической гиперповерхности, устойчивость фильтра.

Устойчивость цифрового рекурсивного фильтра и амоба алгебраической гиперповерхности. Пусть $\mathbf{Z}$ – множество целых чисел, $\mathbf{Z}^n = \mathbf{Z} \times \dots \times \mathbf{Z}$ – n -мерная целочисленная решетка и $\mathbf{Z}_+^n$ – подмножество этой решетки, состоящее из точек $x = (x_1, \dots, x_n)$ с неотрицательными целыми координатами. Обозначим через δ_j оператор сдвига на единицу по j -й переменной: $\delta_j f(x) = f(x_1 + 1, \dots, x_j + 1, \dots, x_n)$. Кроме того, пусть $\delta^x = \delta_1^{x_1} \dots \delta_n^{x_n}$. Обозначим $P(\delta) = \sum_{\alpha \in A} c_\alpha \delta^\alpha$ и $Q(\delta) = \sum_{\beta \in B} a_\beta \delta^\beta$ – полиномиальные (т. е. A и B – конечные подмножества $\mathbf{Z}_+^n$) разностные операторы с постоянными коэффициентами. Цифровой рекурсивный фильтр определим как задачу Коши для разностного оператора $P(\delta)$:

$$P(\delta)f(x) = Q(\delta)g(x), x \in X \subset \mathbf{Z}^n, \quad (1)$$

$$f(x) = \varphi(x), x \in X_0 \subset X, \quad (2)$$

где $\varphi(x)$ и $g(x)$ – заданные соответственно на множестве X_0 и множестве X функции – входные данные дискретной динамической системы (1)–(2); $f(x)$ – искомый выходной сигнал.

Важным свойством фильтра является его устойчивость. Фильтр называется устойчивым, если он переводит ограниченный входной сигнал $g(x)$ в ограниченный выходной сигнал $f(x)$.

Многочлен $P(z) = \sum_{\alpha} c_\alpha z^\alpha$ называется характеристическим для разностного уравнения (1).

Многогранником Ньютона N_P характеристического многочлена $P(z)$ называется выпуклая оболочка в $\mathbf{R}^n$ элементов множества A .

Амобой многочлена $P(z)$, или, эквивалентно, алгебраической гиперповерхности $V = \{z \in \mathbf{C}^n : P(z) = 0\}$ называется образ V при логарифмическом проектировании $\text{Log} : (z_1, \dots, z_n) \rightarrow (\log |z_1|, \dots, \log |z_n|)$. Обозначается амоба через $\mathbf{A}_P$ или $\mathbf{A}_V$. Отметим необходимые нам факты [1], касающиеся амоб.

1. Дополнение амобы $\mathbf{R}^n \setminus \mathbf{A}_P$ состоит из конечного числа связных компонент $\{E_v\}$, каждая из которых открыта и выпукла, а каждый ее прообраз $\text{Log}^{-1}(E_v)$ есть область сходимости соответствующего ряда Лорана для

рациональной функции $\frac{1}{P(z)} = \sum_x \frac{\mathbf{P}_v(x)}{z^x}$.

Коэффициенты $\mathbf{P}_v(x)$ данного разложения можно представить в виде интеграла $\mathbf{P}_v(z) = \frac{1}{(2\pi i)^n} \int_{\Gamma} \frac{z^x}{P(z)} \frac{dz}{z}$, где интегрирование ведется по n -мерному циклу

$\Gamma_v = \text{Log}^{-1}\xi$, а $\xi \in E_v$. Функция $\mathbf{P}_v(x)$ целочисленных аргументов $x = (x_1, \dots, x_n)$ является фундаментальным решением разностного оператора $P(\delta)$, т. е.

$$P(\delta)\mathbf{P}_v(x) = \delta_0(x), \text{ где } \delta_0(x) = \begin{cases} 0, & x \neq 0, \\ 1, & x = 0. \end{cases}$$

2. Число компонент $\{E_v\}$ дополнения амобы не меньше, чем число вершин многогранника N_P , так как всякой его вершине v соответствует непустая компонента E_v дополнения $\mathbf{R}^n \setminus \mathbf{A}_P$, причем двойственный конус к вершине v многогранника N_P $C_v = \{x \in \mathbf{R}^n : \langle x, v \rangle = \max_{\alpha \in N_P} \langle x, \alpha \rangle\}$ является асимптотическим для этой компоненты, т. е. для любой точки $\xi \in E_v$ справедливо включение $\xi + C_v \subset E_v$, и никакой другой содержащий C_v конус этому свойству не удовлетворяет.

Если v – вершина многогранника Ньютона, то рациональная функция $\frac{1}{P(z)}$ разлагается в области $\text{Log}^{-1}E_v$

в ряд Лорана вида $\frac{1}{P(z)} = \sum_{\beta} \frac{\mathbf{P}_v(\beta)}{z^{v+\beta}}$, где

$\beta \in \mathbf{Z}^n \cap K_v$, а K_v – конус, построенный на векторах $v - \alpha, \alpha \in A$.

В данной работе будем рассматривать фильтры со следующими ограничениями на разностный оператор: если N_P – многогранник Ньютона характеристического

многочлена $P(z) = \sum_{\alpha \in A} c_\alpha z^\alpha$, то существует вершина

$m \in N_P$ такая, что $m \geq \alpha$ для всех $\alpha \in N_P$ (*).

Здесь «векторное» неравенство $m \geq \alpha$ означает, что для всех компонент этих векторов справедливы неравенства $m_j \geq \alpha_j, j = 1, 2, \dots, n$. Целочисленный вектор m назовем порядком уравнения (1). Соответствующую вершине m многогранника Ньютона N_P компоненту дополнения $\mathbf{R}^n \setminus \mathbf{A}_P$ амобы назовем главной.

Уравнение (1) будем рассматривать на множестве $X = \mathbf{Z}_+^n$, а в качестве множества X_0 , на котором задаются начальные условия, возьмем $X_0 = \{x \in \mathbf{Z}_+^n : x \neg \geq m\}$, где соотношение $x \neg \geq m$ означает, что хотя бы для одного j_0 имеет место неравенство $x_{j_0} < m_{j_0}$.

В таком случае [1] задача (1)–(2) имеет единственное решение, причем [3] оно имеет вид $f(x) = f_0(x) + f_r(x)$, где

$$f_0(x) = \sum_{y \neg \geq 0} \left(\sum_{\alpha \in A} c_\alpha \varphi(y + \alpha) \right) \mathbf{P}_m(x - y), \quad (3)$$

$$f_r(x) = \sum_{y \geq 0} (Q(\delta)g(y)) \mathbf{P}_m(x - y). \quad (4)$$

Здесь $f_0(x)$ – «общее» решение однородного уравнения, а $f_r(x)$ – частное решение неоднородного уравнения.

Теорема 1. Пусть цифровой рекурсивный фильтр (1)–(2) удовлетворяет условию (*), тогда:

1) если цифровой рекурсивный фильтр устойчив, то фундаментальное решение $\mathbf{P}_m$ разностного уравнения (1), соответствующее главной компоненте E_m дополнения амобы, ограничено, а замыкание главной компоненты E_m дополнения амобы $\mathbf{A}_p$ содержит начало координат: $0 \in E_m \cup \partial E_m$;

2) если главная компонента E_m дополнения $\mathbf{R}^n \setminus \mathbf{A}_p$ амобы содержит начало координат, $0 \in E_m$, то ряд из абсолютных величин значений фундаментального решения $\sum_{x \geq 0} |\mathbf{P}_m(x)|$ сходится, а фильтр устойчив.

Доказательство. 1. В качестве входных данных задачи (1)–(2) возьмем $\varphi \equiv 0$, а $g(y)$ выберем так, чтобы $Q(\delta)g(y) = \delta_0(x)$. В этом случае решением задачи (1)–(2) очевидным образом будет фундаментальное решение $f(x) = \mathbf{P}_m(x)$, так как входные данные задачи ограничены, а фильтр устойчив по условию, то и $\mathbf{P}_m(x)$ ограничено.

Из ограниченности фундаментального решения $\mathbf{P}_m(x)$ следует, что область сходимости $\text{Log}^{-1}E_m$ ряда Лорана $\sum_{x \geq 0} \frac{\mathbf{P}_m(x)}{z^x}$ содержит множество $\{z \in \mathbf{C}^n : |z_1| > 1, \dots, |z_n| > 1\}$, т. е. главная компонента E_m дополнения амобы содержит множество $\mathbf{R}_>^n = \{x \in \mathbf{R}^n : x_1 > 0, \dots, x_n > 0\}$.

Из условия $m \geq \alpha$ для всех $\alpha \in A$ следует, что $\mathbf{R}_>^n$ содержится в двойственном конусе C_m и, согласно свойству 2 амоб, имеем $\mathbf{R}_>^n \subset E_m$, т. е. $0 \in E_m \cup \partial E_m$.

2. Множество $\text{Log}_{-1}E_m$ является областью сходимости ряда $\sum_{x \geq 0} \frac{\mathbf{P}_m(x)}{z^x}$. Условие $0 \in E_m$ означает, что точка (1,1) является внутренней точкой этого множества, поэтому числовой ряд $\sum_{x \geq 0} |\mathbf{P}_m(x)|$ сходится.

Пусть начальные данные $\varphi(x)$ и правая часть уравнения $g(x)$ ограничены: $\|\varphi\|_0 = \max_{x \in X_0} |\varphi(x)| < +\infty$, $\|g\| < +\infty$. Оценим соответствующее этим входным данным решение задачи Коши. Для зависящей от начальных данных части $f_0(x)$ решения имеем

$$\begin{aligned} |f_0(x)| &= \sum_{y \geq 0} \left(\sum_{\alpha \in A} |c_\alpha| \|\varphi(y + \alpha)\| \right) |\mathbf{P}_m(x - y)| \leq \\ & \left(\sum_{\alpha \in A} |c_\alpha| \right) \|\varphi\|_0 \sum_{y \geq 0} |\mathbf{P}_m(x - y)| \leq \\ & \left(\sum_{\alpha \in A} |c_\alpha| \right) \|\varphi\|_0 \sum_{y \geq 0} |\mathbf{P}_m(y)|. \end{aligned} \quad (5)$$

Для «частного» решения $f_r(x)$ получим

$$|f_r(x)| \leq \sum_{y \geq 0} |g(y)| \|\mathbf{P}_m(x - y)\| \leq \|g\| \sum_{y \geq 0} |\mathbf{P}_m(y)|.$$

Таким образом, ограниченность решения $f(x) = f_0(x) + f_r(x)$ доказана.

Таким образом, условие $0 \in E_m$ обеспечивает устойчивость фильтра, а вот в случае, когда $0 \in \partial E_m$, ситуация следующая. Для некоторых разностных операторов $P(\delta)$ и $Q(\delta)$ фильтр устойчив, а для других нет. Для исследова-

ния устойчивости фильтра в случае, когда $0 \in \partial E_m$, удобно преобразовать формулу (4) к виду

$$f_r(x) = \sum_y g(y) h(x - y), \quad (6)$$

где функция $h(x)$ удовлетворяет разностному уравнению

$\sum_\alpha c_\alpha h(x + \alpha) = \sum_\beta b_\beta \delta_0(x + \beta)$ и называется импульсным откликом фильтра [4]. Несложно проверить, что $h(x) = Q(\delta)\mathbf{P}_m(x)$, где $\mathbf{P}_m(x)$ – фундаментальное решение задачи Коши, соответствующее порядку m уравнения. Производящая функция импульсного отклика (z -преобразование функции целочисленного аргумента $h(x)$)

$F(z) = \sum_{x \in \mathbf{Z}^n} \frac{h(x)}{z^{x+1}}$ называется передаточной функцией

цифрового рекурсивного фильтра. Важным для приложений является случай, когда передаточная функция является рациональной функцией $F(z) = \frac{Q(z)}{P(z)}$, где

$Q(z) = \sum_{\beta \in B} b_\beta z^\beta$ и $P(z) = \sum_{\alpha \in A} a_\alpha z^\alpha$ – многочлены. Если

$G(z) = \sum_{x \in \mathbf{Z}^n} \frac{g(x)}{z^{x+1}}$ и $\Phi(z) = \sum_{x \in \mathbf{Z}^n} \frac{f(x)}{z^{x+1}}$ – преобразование входного и выходного сигналов соответственно, то из соотношений $\Phi(z) = F(z)G(z)$ следует, что $P(z)\Phi(z) = Q(z)G(z)$.

Приведем необходимое и достаточное условие устойчивости фильтра в терминах, связанных со свойствами передаточной функции фильтра, в предположении, что начальные данные задачи фиксированы ($\varphi \equiv 0$).

Предложение 1. Фильтр устойчив тогда и только тогда, когда сходится числовой ряд

$$\sum_{x \in \mathbf{Z}^n} |h(x)|, \quad (7)$$

образованный из модулей импульсного отклика $h(x)$ (см., например, [4]).

Доказательство. Достаточность следует из формулы (6). Действительно,

$$|f_r(x)| \leq \sum_{y \geq 0} |g(y)| \|h(x - y)\| \leq \|g\| \sum_y |h(x - y)| \leq \|g\| \sum_y |h(y)|.$$

Для доказательства необходимости зафиксируем $x \in \mathbf{Z}_+^n$ и в качестве входного сигнала $g_x(y)$ возьмем функцию

$$g_x(y) = \begin{cases} \frac{\overline{h(x - y)}}{|h(x - y)|}, & \text{для } 0 \leq y \leq x, \\ 0, & \text{для остальных } y, \end{cases}$$

где $\overline{h}$ означает число, комплексно сопряженное к h .

Тогда соответствующий этому входному сигналу g_x выходной сигнал определится по формуле (6):

$$f_r(x) = \sum_y \frac{\overline{h(x - y)}}{|h(x - y)|} h(x - y) = \sum_y |h(x - y)| = \sum_{0 \leq y' \leq x} |h(y')|.$$

Но по условию $\|f_r\| < +\infty$, т. е. частичные суммы ряда $\sum_y |h(y)|$ ограничены, а ряд (7) сходится.

Достаточное условие устойчивости двумерного цифрового рекурсивного фильтра. Вопрос устойчивости двумерного цифрового рекурсивного фильтра исследован в [5]. Для того чтобы сформулировать основной результат

этой работы, касающийся сходимости ряда (7) из модулей коэффициентов передаточной функции, удобно сделать замену $(z, w) \rightarrow (\frac{1}{z}, \frac{1}{w})$ и сформулировать задачу об устойчивости цифрового рекурсивного фильтра как задачу о сходимости ряда из модулей коэффициентов Тейлора рациональной функции двух переменных. Обозначим передаточную функцию фильтра, полученную после указанной замены так же, как и до замены, т. е.

$F(z, w) = \frac{Q(z, w)}{P(z, w)}$, и отметим, что $P(0, 0) \neq 0$. Последнее условие есть следствие ограничения (*) на порядок m разностного уравнения. Пусть

$$F(z, w) = \sum_{x, y \geq 0} h(x, y) z^x w^y \quad (8)$$

разложение функции F в ряд Тейлора и D_m – область сходимости этого ряда. Как известно (см., например, [6]), это полная 2-круговая область, она логарифмически выпукла и $\text{Log} D_m = -E_m$, где E_m – главная компонента дополнения амёбы характеристического множества разностного уравнения.

Включение $0 \in \bar{E}_m$ эквивалентно включению $I \in \bar{D}_m$, где $I = (1, 1)$. Обозначим $U^2 = \{(z, w) \in \mathbb{C}^2 : |z| < 1, |w| < 1\}$ – единичный бикруг и $T^2 = \{(z, w) \in \mathbb{C}^2 : |z| = 1, |w| = 1\}$ – остов этого бикруга. Поскольку D_m – полная область, то условие $(1, 1) \in D_m$ эквивалентно условию $U^2 \subset D_m$. С точки зрения исследования устойчивости фильтра интерес представляет случай, когда множество нулей знаменателя $V = \{(z, w) : P(z, w) = 0\}$ не пересекается с бикругом U^2 , но $V \cap T^2 \neq \emptyset$. Обозначим $H^\lambda(\bar{U}^2)$ – класс функций, удовлетворяющих на U^2 условию Гельдера с показателем λ .

Задачу об устойчивости двумерного фильтра решает следующая теорема.

Теорема 2 [5]. Если функция $F = \frac{Q(z, w)}{P(z, w)}$ принадлежит классу $H^{\frac{1}{2}}(\bar{U}^2)$, то для нее ряд $F = \sum_{x, y \geq 0} |h(x, y)|$ сходится, а при любом $\lambda < \frac{1}{2}$ существует рациональная функция класса $H^\lambda(\bar{U}^2)$, для которой этот ряд расходится.

Этот результат представляет больше теоретический интерес, чем практический, ибо проверять свойство гольдерности не так просто.

Приведем один простой признак устойчивости двумерного фильтра. В работе [5] были введены величины, оказывающие решающее влияние на асимптотику коэффициентов рациональных функций двух переменных:

μ – порядок касания множества V и гиперболы $z^p w^q - t = 0$ в точке $(z_0, w_0) \in V$: $\mu := \text{ord}_{(z_0, w_0)}(z^p w^q - z_0^p w_0^q)|_V$; β – порядок нуля сужения числителя Q на множество V : $\beta := \text{ord}_Q|_V$.

Например, для комплексной прямой $z + w = 2$ порядок касания μ с гиперболой $zw = 1$ равен 2, так как $zw - 1|_V = -(z - 1)^2$, а для кривых $w - z^2 + 3z - 3 = 0$ и $5w + 3z^3 - 8z^2 + 18z - 18 = 0$ для этой же гиперболы $\mu = 3$.

Пусть рациональная функция $Q(z, w)/P(z, w)$ голоморфна в бикруге $U^2 = \{|z| < 1, |w| < 1\}$, а кривая $V = \{(z, w) : P(z, w) = 0\}$ пересекает остов $T^2 = \{|z| = 1, |w| = 1\}$ в конечном числе точек

$a_j = (a_{j_1}, a_{j_2})$. Для каждой точки a_j существует направление $(p, q) \in \mathbb{R}_+^2$, для которого a_j – ближайшая особая точка; порядок касания в точке a_j обозначим μ_j :

$$\mu_j = \text{ord}_{a_j}(z^p w^q - a_{j_1}^p a_{j_2}^q)|_V.$$

Наряду с числовой характеристикой μ_j кривой V нам потребуется еще одна, определенная в [5], которая выражает порядок касания в a_j кривой V с тором T^2 (или порядок примыкания V к бикругу $\bar{U}^2$). Для ее определения мы можем считать (после замены $(z, w) \rightarrow (ze^{i\theta_1}, we^{i\theta_2})$), что $a_j = (1, 1)$. Рассмотрим неявную функцию $u = \Phi(v)$, определяемую уравнением $P(u, ie^{iv}) = 0$ со свойством $\Phi(0) = 1$ (т. е. росток кривой V в точке $(1, 1)$, записанный в координатах $u = z$, $v = -\ln(w/z)$). Полагая, что $\theta = \text{Rev}$, определим искомый порядок касания V с T^2 как $\delta_j = \text{ord}_0(|\Phi(\theta)| - 1)$. Скажем, для комплексной прямой $z + w = 2$ в точке $(1, 1)$ имеем $\delta = 2$, а для кривых $w - z^2 + 3z - 3 = 0$ и $w - 1 + (z - 1) - (z - 1)^2 + 3/5(z - 1)^3$ величина δ равна 3 и 6 соответственно.

Теорема 3. Если комплексная алгебраическая кривая $V = \{P = 0\}$ пересекает замкнутый единичный бикруг $\bar{U}^2$ в конечном числе точек $a_j \in T^2$, причем с порядком $\delta_j = 2$, то для рациональной функции $F(z, w) = Q(z, w)/P(z, w)$ следующие условия эквивалентны:

а) порядок нуля числителя Q в каждой точке a_j не меньше трех: $\text{ord}_{a_j} Q \geq 3$ (напомним, что порядок функции в точке – это наименьший порядок ее производных, отличных от нуля в этой точке);

б) ряд Тейлора с центром в нуле для F абсолютно сходится в $\bar{U}^2$;

в) функция F непрерывна в $\bar{U}^2$.

Замечание 1. В [5] показано, что всегда $\delta_j \geq \mu_j \geq 2$, следовательно, в условиях теоремы 3 имеем $\delta_j = \mu_j = 2$ для всех точек a_j . Именно благодаря этому условию свойства б и в эквивалентны. До публикации статьи [5] существовала гипотеза Ш. А. Даутова [7; 8] о том, что эти свойства эквивалентны в общей ситуации. Однако в [5] было доказано, что, вообще говоря, из непрерывности F в $\bar{U}^2$ еще не следует абсолютная сходимость ряда Тейлора в $\bar{U}^2$. Таким образом, теорема 3 выявляет рамки справедливости гипотезы Ш. А. Даутова, состоящие в равенствах $\delta_j = \mu_j = 2$ в точках касания a_j кривой V и тора T^2 .

Доказательство. а) $\Rightarrow$ б). Воспользуемся утверждением предложения 2.1 работы [5], которое гласит, что каждая точка a_j вносит свой аддитивный асимптотический вклад $a_j(k_1, k_2)$ в последовательность $h(k_1, k_2)$ коэффициентов Тейлора функции $F = Q/P$. При этом в условиях $\delta_j = \mu_j = 2$ имеет место оценка

$$|a_j(k_1, k_2)| \leq \begin{cases} \text{const} \cdot (k_1 + k_2)^{-\frac{\beta_j + 1}{2}}, & \text{если } k_1 \geq (pk_2 - qk_1)^2, \\ \text{const} \cdot e^{-C(k_1 + k_2)^\chi}, & \text{если } k_1 < |pk_2 - qk_1|^2, \end{cases}$$

где $\beta_j = \text{ord}_{a_j} P$; χ – любое положительное число; $C > 0$ – некоторое фиксированное число; вектор (p, q) – направление, для которого a_j – ближайшая особая точка. Иными словами, вне параболы $k_1 = |pk_2 - qk_1|^2$ последовательность $a_j(k_1, k_2)$ экспоненциально убывает, а внутри убывает степенным образом. Заметим, что для области

$D = \{k_1 > 1, k_2 > 1, k_1 > (pk_2 - qk_1)^2\}$ при $\beta_j \geq 3$ имеем

$$\iint_D (k_1 + k_2)^{-\frac{\beta_j+1}{2}} dk_1 dk_2 \leq \iint_D \frac{dk_1 dk_2}{(k_1 + k_2)^2}.$$

После замены переменных $k_1 = s_1, pk_2 - qk_1 = s_2$ последний интеграл мажорируется с точностью до некоторого множителя сходящимся интегралом

$$\int_{s_1 > s_2^2} \frac{ds_1 ds_2}{s_1^2} = \int_1^\infty \frac{ds_1}{s_1^2} \int_1^{\sqrt{s_1}} ds_2 = \int_1^\infty \frac{ds_1}{s_1^{3/2}}.$$

По интегральному признаку сравнения получаем, что

ряд $\sum_{z_+^2} |a_j(k_1, k_2)|$ сходится, следовательно, и полный ряд

$\sum_{z_+^2} |h(k_1, k_2)|$ сходится. Тем самым импликация $a) \Rightarrow b)$ доказана.

$b) \Rightarrow c)$. Эта импликация вытекает из теоремы Вейерштрасса о непрерывности суммы равномерно сходящегося степенного ряда и из признака Вейерштрасса о равномерной сходимости ряда, который мажорируется сходящимся числовым рядом.

$c) \Rightarrow a)$. Предположим, что хотя бы один из порядков $\text{ord}_{a_j} Q \leq 2$. Без ограничения общности можно считать, что $a_j = (1, 1)$. По определению числа δ имеем

$$|\Phi(\theta)| = 1 + d\theta^2 + o(\theta^2), \quad d \neq 0 (**).$$

Более того, поскольку $|\Phi(\theta)| > 1$ при $\theta \neq 0$, необходимо $d > 0$.

Если $\Phi(\theta) = 1 + b_1\theta + b_2\theta^2 + o(\theta^2)$, $b_1 \neq 0$, то рассмотрим семейство функций $\varphi_c(\theta) = 1 + b_1\theta + (b_2 + c)\theta^2 + o(\theta^2)$, $c \in \mathbf{R}$, для которого согласно (**) $|\varphi_c(\theta)| = 1 + (c + d)\theta^2 + o(\theta^2)$.

Таким образом, при $c < -d$ путь $\gamma_c = (\varphi_c(\theta), \varphi_c(\theta)e^{i\theta})$ лежит в бикруге U^2 и касается V с порядком 2 (у φ_c и Φ одинаковые линейные части $1 + b_1\theta$ и различные квадратичные части). Таким образом, $P|_{\gamma_c}$ имеет порядок 2: $Q|_{\gamma_c} = k(c)\theta^2 + \dots$, где $k(c) \neq \text{const}$.

И если бы $\text{ord}_{(1,1)} Q$ был меньше 3, то сужение $Q|_{\gamma_c}$ имело бы вид $k_1\theta^l + o(\theta^l)$, $l \leq 2$, причем k_1 не зависит от c . Поэтому при $l \leq 2$ функция $F = Q/P$ неограничена на пути $\gamma_c \in \bar{U}^2$, а при $l = 2$ пределы этой функции на γ_c различны при разных c . Противоречие с непрерывностью F .

Важнейшей характеристикой цифрового рекурсивного фильтра является импульсный отклик, характеризующий его устойчивость. В двумерном случае проблема устойчивости решена в работе А. К. Циха [5], где полученный результат сводит вопрос об определении устойчивости цифрового рекурсивного фильтра к свойству гёльдеровости передаточной функции фильтра, проверять которое не всегда просто. В данной работе получено два результата об устойчивости многомерных цифровых фильтров: приведено необходимое и (отдельно) достаточное условие устойчивости фильтра в терминах амёб алгебраических гиперповерхностей, а также дано простое достаточное условие устойчивости двумерного рекурсивного фильтра. Для формулировки этого условия используются числовые характеристики, отражающие геометрию пересечения характеристической кривой с единичным бикругом.

Библиографические ссылки

1. Forsberg M., Passare M., Tsikh A. Laurent determinants and arrangements of hyperplane amoebas // Adv. in Math. 2000. № 151. С. 45–70.
2. Bousquet-Mélou M., Petkovšek M. Linear recurrences with constant coefficients: the multivariate case // Discrete Mathematics. 2000. Vol. 225. P. 51–75.
3. Лейнартас Е. К. Кратные ряды Лорана и фундаментальные решения линейных разностных уравнений // Сиб. мат. журн. 2007. № 48. С. 335–340.
4. Даджон Д., Мерсеро О. Цифровая обработка многомерных сигналов. М.: Мир, 1988.
5. Цих А. К. Условия абсолютной сходимости ряда из коэффициентов Тейлора мероморфных функций двух переменных // Мат. сб. 1991. № 11. С. 1588–1612.
6. Шабат Б. В. Введение в комплексный анализ. М.: Наука, 1969.
7. Даутов Ш. А. Об абсолютной сходимости ряда из коэффициентов Тейлора рациональных функций двух переменных. Устойчивость двумерных цифровых рекурсивных фильтров // Докл. АН СССР. 1981. Т. 257(6). С. 1302–1305.
8. Некоторые нерешенные вопросы многомерного комплексного анализа / ред. Е. М. Чирка / Ин-т физики СО АН СССР. Красноярск, 1987.

D. E. Leynartas

ON STABILITY OF DIGITAL RECURSIVE FILTERS

In this paper the author gives both necessary and sufficient stability conditions of digital recursive filter in the terms connected with concept of amoeba of algebraic hypersurface. Sufficient condition of stability of the two-dimensional filter is received at some additional restrictions on the differential operator of the filter.

Keywords: digital recursive filter, amoeba of algebraic hypersurface, stability of filter.

© Лейнартас Д. Е., 2011

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ С ДВУМЯ СВОБОДНЫМИ КРАЯМИ

Представлено решение задачи об определении основной частоты колебаний трехслойной пластины, у которой два смежных края жестко закреплены, а два других свободны. Пластина состоит из двух одинаковых композитных несущих слоев и ортотропного заполнителя. Для решения динамической задачи был применен обобщенный метод Галеркина. Получена формула для определения основной частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями.

Ключевые слова: трехслойная пластина, частота колебаний, обобщенный метод Галеркина.

При проектировании трехслойных пластин часто возникает задача выбора геометрических и упругих параметров, которые обеспечивают максимальную изгибную жесткость и минимальную погонную массу конструкции [1; 2]. Особенностью этой задачи является взаимное влияние изгибной жесткости и погонной массы трехслойной пластины. Это влияние проявляется в том, что рост изгибной жесткости пластины всегда сопровождается увеличением ее погонной массы. Поэтому для проектирования трехслойных пластин необходим определенный критерий эффективности конструкции. В качестве такого критерия удобно использовать основную частоту колебаний трехслойной пластины.

Рассмотрим прямоугольную трехслойную пластину, которая состоит из двух одинаковых композитных несущих слоев и ортотропного заполнителя. Введем систему декартовых координат x, y, z , связанную со срединной плоскостью пластины. Обозначим размеры пластины по осям x и y через a и b соответственно. Пусть края пластины $x = 0$ и $y = 0$ будут жестко закреплены, а края пластины $x = a$ и $y = b$ свободны.

Получим вариационное уравнение изгибных колебаний трехслойной пластины, используя принцип Гамильтона. В соответствии с этим принципом, интеграл действия Гамильтона для действительного движения трехслойной пластины в некотором промежутке времени имеет стационарное значение. Выберем в качестве этого промежутка период колебаний с круговой частотой ω . Тогда условие стационарности интеграла действия Гамильтона примет вид

$$\delta(T_{\max} - U_{\max}) = 0, \quad (1)$$

где δ – знак вариации; $T_{\max}$ – максимальная кинетическая энергия трехслойной пластины; $U_{\max}$ – максимальная потенциальная энергия изгиба трехслойной пластины. Величины $T_{\max}$ и $U_{\max}$ определяются следующими выражениями:

$$T_{\max} = \frac{1}{2} \omega^2 B_p \iint_0^a \int_0^b w^2 dx dy,$$

$$U_{\max} = \frac{1}{2} \iint_0^a \int_0^b \left[D_{11} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial x} \right)^2 + 2D_{12} \frac{\partial \theta_x}{\partial x} \frac{\partial \theta_y}{\partial y} + D_{22} \left(\frac{\partial \theta_y}{\partial y} \right)^2 + D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + K_x \left(\theta_x + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + K_y \left(\theta_y + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy, \quad (2)$$

где $w = w(x, y)$ – прогиб пластины; $\theta_x = \theta_x(x, y)$, $\theta_y = \theta_y(x, y)$ – углы поворота нормали; D_{11} , D_{12} , D_{21} , D_{22} , D_{33} – изгибные жесткости трехслойной пластины ($D_{12} = D_{21}$); K_x , K_y – сдвиговые жесткости трехслойной пластины; B_p – инерциальный параметр. Функции w , θ_x и θ_y определяют форму трехслойной пластины при изгибных колебаниях.

Подставим (2) в (1):

$$\begin{aligned} & \iint_0^a \iint_0^b \left[\left(D_{11} \frac{\partial \theta_x}{\partial x} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial y} \right) \delta \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial x} \right) + \right. \\ & \left. + \left(D_{12} \frac{\partial \theta_x}{\partial x} + D_{22} \frac{\partial \theta_y}{\partial y} \right) \delta \left(\frac{\partial \theta_y}{\partial y} \right) + \right. \\ & \left. + D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x} \right) \delta \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} \right) + \right. \\ & \left. + D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x} \right) \delta \left(\frac{\partial \theta_y}{\partial x} \right) + K_x \left(\theta_x + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \delta \theta_x + \right. \\ & \left. + K_x \left(\theta_x + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \delta \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) + K_y \left(\theta_y + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \delta \theta_y + \right. \\ & \left. + K_y \left(\theta_y + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \delta \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) - \omega^2 B_p w \delta w \right] dx dy. \quad (3) \end{aligned}$$

Варируя функционал (3), получим

$$\begin{aligned} & \iint_0^a \iint_0^b L \delta w dx dy - \int_0^a [\theta_x \delta w]_0^a dy - \int_0^b [\theta_y \delta w]_0^b dx = 0, \\ & \iint_0^a \iint_0^b L_x \delta \theta_x dx dy - \int_0^a [M_x \delta \theta_x]_0^a dy - \int_0^b [M_{xy} \delta \theta_x]_0^b dx = 0, \\ & \iint_0^a \iint_0^b L_y \delta \theta_y dx dy - \int_0^a [M_{xy} \delta \theta_y]_0^a dy - \int_0^b [M_y \delta \theta_y]_0^b dx = 0, \quad (4) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} L &= K_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_x \frac{\partial \theta_x}{\partial x} + K_y \frac{\partial \theta_y}{\partial y} + B_p \omega^2 w, \\ L_x &= -K_x \frac{\partial w}{\partial x} + D_{11} \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial x^2} + \\ & + D_{33} \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial y^2} - K_x \theta_x + (D_{11} + D_{33}) \frac{\partial^2 \theta_y}{\partial x \partial y}, \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_y &= -K_y \frac{\partial w}{\partial y} + (D_{12} + D_{33}) \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial x \partial y} + \\
 &+ D_{33} \frac{\partial^2 \theta_y}{\partial x^2} + D_{22} \frac{\partial^2 \theta_y}{\partial y^2} - K_y \theta_y; \\
 Q_x &= K_x \left(\theta_x + \frac{\partial w}{\partial x} \right), \quad Q_y = K_y \left(\theta_y + \frac{\partial w}{\partial y} \right); \\
 M_x &= D_{11} \frac{\partial \theta_x}{\partial x} + D_{12} \frac{\partial \theta_y}{\partial y}; \quad M_y = D_{12} \frac{\partial \theta_x}{\partial x} + D_{22} \frac{\partial \theta_y}{\partial y}, \\
 M_{xy} &= D_{33} \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial y} + \frac{\partial \theta_y}{\partial x} \right).
 \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь Q_x , Q_y – перерезывающие силы, M_x , M_y – изгибающие моменты, M_{xy} – крутящий момент.

Уравнения (4) являются основными вариационными уравнениями, которым должны удовлетворять собственные функции $w(x, y)$, $\theta_x(x, y)$ и $\theta_y(x, y)$, влияющие на форму действительных изгибных колебаний трехслойной пластины.

Полученные вариационные уравнения могут быть использованы для формирования традиционной краевой задачи определения основной частоты колебаний рассматриваемой трехслойной пластины. В силу произвольности вариаций δw , $\delta \theta_x$, $\delta \theta_y$ подынтегральные выражения в двойных интегралах дадут уравнения движения пластины:

$$L = 0, \quad L_x = 0, \quad L_y = 0. \quad (7)$$

Подынтегральные выражения в одинарных интегралах зададут естественные граничные условия на краях $x = 0, x = a$:

$$Q_x \delta w = 0, \quad M_x \delta \theta_x = 0, \quad M_{xy} \delta \theta_y = 0, \quad (8)$$

и на краях $y = 0, y = b$:

$$Q_y \delta w = 0, \quad M_{xy} \delta \theta_x = 0, \quad M_y \delta \theta_y = 0. \quad (9)$$

Для рассматриваемого нами закрепления трехслойной пластины граничные условия (8) и (9) примут следующий вид:

$$\begin{aligned}
 x = 0, \quad w = 0, \quad \theta_x = 0, \quad \theta_y = 0, \\
 y = 0, \quad w = 0, \quad \theta_x = 0, \quad \theta_y = 0,
 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 x = a, \quad Q_x = 0, \quad M_x = 0, \quad M_{xy} = 0, \\
 y = b, \quad Q_y = 0, \quad M_y = 0, \quad M_{xy} = 0.
 \end{aligned} \quad (11)$$

Точное определение частот и форм колебаний исследуемой трехслойной пластины связано с решением однородной краевой задачи (7), (10) и (11), которое вызывает значительные математические затруднения и не получено до настоящего времени. Однако определение основной частоты колебаний данной пластины может быть выполнено с помощью весьма эффективных приближенных методов, одним из которых является обобщенный метод Галеркина. В этом методе прогиб $w(x, y)$ и углы поворота $\theta_x(x, y)$, $\theta_y(x, y)$ заменяются аналитическими выражениями, которые аппроксимируют первую форму колебаний пластины вдоль осей x и y . В качестве функций, задающих возможную первую форму таких колебаний, можно принять функции, полученные из решения задачи изгиба консольно закрепленной балки под действием постоянного давления.

Представим прогиб и углы поворота в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 w &= F U_x(x) U_y(y), \quad \theta_x = T_x V_x(x) U_y(y), \\
 \theta_y &= T_y U_x(x) V_y(y),
 \end{aligned} \quad (12)$$

где F , T_x , T_y – неизвестные числа; $U_x(x)$, $V_x(x)$, $U_y(y)$, $V_y(y)$ – аппроксимирующие функции, которые задаются выражениями

$$\begin{aligned}
 U_x(x) &= \frac{x}{a} \left[\frac{x^3}{a^3} - 4 \frac{x^2}{a^2} + 6 \frac{x}{a} - 12 \gamma_x \left(\frac{x}{a} - 2 \right) \right], \\
 V_x(x) &= \frac{x}{a} \left(\frac{x^2}{3a^2} - \frac{x}{a} + 1 \right),
 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned}
 U_y(y) &= \frac{y}{b} \left[\frac{y^3}{b^3} - 4 \frac{y^2}{b^2} + 6 \frac{y}{b} - 12 \gamma_y \left(\frac{y}{b} - 2 \right) \right], \\
 V_y(y) &= \frac{y}{b} \left(\frac{y^2}{3b^2} - \frac{y}{b} + 1 \right).
 \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь

$$\gamma_x = \frac{D_{11}}{K_x a^2}, \quad \gamma_y = \frac{D_{22}}{K_y b^2}. \quad (15)$$

Безразмерные параметры γ_x и γ_y характеризуют сдвиговые податливости трехслойной пластины в плоскостях xz и yz соответственно.

Производные от аппроксимирующих функций (13) и (14) могут быть найдены по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 \frac{dU_y}{dy} &= \frac{4}{b} \left[\frac{y^3}{b^3} - 3 \frac{y^2}{b^2} + 3 \frac{y}{b} - 6 \gamma_y \left(\frac{y}{b} - 1 \right) \right], \\
 \frac{dV_y}{dy} &= \frac{1}{b} \left(\frac{y^2}{b^2} - 2 \frac{y}{b} + 1 \right),
 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dU_x}{dx} &= \frac{4}{a} \left[\frac{x^3}{a^3} - 3 \frac{x^2}{a^2} + 3 \frac{x}{a} - 6 \gamma_x \left(\frac{x}{a} - 1 \right) \right], \\
 \frac{dV_x}{dx} &= \frac{1}{a} \left(\frac{x^2}{a^2} - 2 \frac{x}{a} + 1 \right).
 \end{aligned} \quad (17)$$

Вариации функций (12) имеют вид

$$\delta w = U_x U_y \delta F, \quad \delta \theta_x = V_x U_y \delta T_x, \quad \delta \theta_y = U_x V_y \delta T_y. \quad (18)$$

Подставляя (12) и (18) в соотношения (4), (5), (6) и учитывая произвольность вариаций δF , δT_x и δT_y , получим

$$\begin{aligned}
 \int_0^a \int_0^b L U_x U_y dx dy - \int_0^a [Q_x U_x U_y]_0^a dy - \int_0^a [Q_y U_x U_y]_0^b dx = 0, \\
 \int_0^a \int_0^b L_x V_x U_y dx dy - \int_0^a [M_x V_x U_y]_0^a dy - \int_0^a [M_{xy} V_x U_y]_0^b dx = 0, \\
 \int_0^a \int_0^b L_y U_x V_y dx dy - \int_0^a [M_{xy} U_x V_y]_0^a dy - \int_0^a [M_y U_x V_y]_0^b dx = 0,
 \end{aligned} \quad (19)$$

где

$$\begin{aligned}
 L &= \left(K_x \frac{d^2 U_x}{dx^2} U_y + K_y \frac{d^2 U_y}{dy^2} U_x \right) F + K_x \frac{dV_x}{dx} U_y T_x + \\
 &+ K_y \frac{dV_y}{dy} U_x T_y + B_p \omega^2 U_x U_y F = 0,
 \end{aligned}$$

$$L_x = -K_x \frac{dU_x}{dx} U_y F + \left(D_{11} \frac{d^2 V_x}{dx^2} U_y + D_{33} V_x \frac{d^2 U_y}{dy^2} - K_x V_x U_y \right) \times \\ \times T_x + (D_{12} + D_{33}) \frac{dU_x}{dx} \frac{dV_y}{dy} T_y = 0, \quad (20)$$

$$L_y = -K_y U_x \frac{dU_y}{dy} F + (D_{12} + D_{33}) \frac{dV_x}{dx} \frac{dU_y}{dy} T_x + \\ + \left(D_{33} \frac{d^2 U_x}{dx^2} V_y + D_{22} U_x \frac{d^2 V_y}{dy^2} - K_y U_x V_y \right) T_y = 0;$$

$$Q_x = K_x \left(V_x T_x + \frac{dU_x}{dx} F \right) U_y, \\ M_x = D_{11} \frac{dV_x}{dx} U_y T_x + D_{12} U_x \frac{dV_y}{dy} T_y; \quad (21)$$

$$Q_y = K_y \left(V_y T_y + \frac{dU_y}{dy} F \right) U_x, \\ M_y = D_{12} \frac{dV_x}{dx} U_y T_x + D_{22} U_x \frac{dV_y}{dy} T_y; \quad (22)$$

$$M_{xy} = D_{33} \left(V_x \frac{dU_y}{dy} T_x + \frac{dU_x}{dx} V_y T_y \right). \quad (23)$$

Уравнения (19) автоматически обеспечивают приближенное (интегральное) удовлетворение граничных условий (11) на свободных краях пластины.

Выполняя в уравнениях (19) интегрирование, получим следующую однородную систему линейных алгебраических уравнений:

$$\left[K_x (I_{2x} - P_x) I_{1y} + K_y I_{1x} (I_{2y} - P_y) \right] \times \\ \times F + K_x (I_{3x} - S_x) I_{1y} T_x + \\ + K_y I_{1x} (I_{3y} - S_y) T_y + B_p \omega^2 I_{1x} I_{1y} F = 0, \quad (24) \\ -K_x J_{3x} I_{1y} F + \\ + \left[D_{11} (J_{2x} - R_x) I_{1y} + D_{33} J_{1x} (I_{2y} - P_y) - K_x J_{1x} I_{1y} \right] T_x + \\ + \left[D_{12} (J_{3x} - S_x) I_{3y} + D_{33} J_{3x} (I_{3y} - S_y) \right] T_y = 0, \\ -K_y J_{3y} I_{1x} F + \\ + \left[D_{22} (J_{2y} - R_y) I_{1x} + D_{33} J_{1y} (I_{2x} - P_x) - K_y J_{1y} I_{1x} \right] T_y + \\ + \left[D_{12} (J_{3y} - S_y) I_{3x} + D_{33} J_{3y} (I_{3x} - S_x) \right] T_x = 0,$$

где

$$I_{1x} = \int_0^a U_x^2 dx, \quad I_{1y} = \int_0^b U_y^2 dy, \\ J_{1x} = \int_0^a V_x^2 dx, \quad J_{1y} = \int_0^b V_y^2 dy, \\ I_{2x} = \int_0^a U_x \frac{d^2 U_x}{dx^2} dx, \quad I_{2y} = \int_0^b U_y \frac{d^2 U_y}{dy^2} dy, \\ J_{2x} = \int_0^a V_x \frac{d^2 V_x}{dx^2} dx, \quad J_{2y} = \int_0^b V_y \frac{d^2 V_y}{dy^2} dy, \quad (25) \\ I_{3x} = \int_0^a U_x \frac{dV_x}{dx} dx, \quad I_{3y} = \int_0^b U_y \frac{dV_y}{dy} dy, \\ J_{3x} = \int_0^a V_x \frac{dU_x}{dx} dx, \quad J_{3y} = \int_0^b V_y \frac{dU_y}{dy} dy,$$

$$P_x = \left[U_x \frac{dU_x}{dx} \right]_0^a, \quad R_x = \left[V_x \frac{dV_x}{dx} \right]_0^a, \\ S_x = [U_x V_x]_0^a, \quad (26)$$

$$P_y = \left[U_y \frac{dU_y}{dy} \right]_0^b, \quad R_y = \left[V_y \frac{dV_y}{dy} \right]_0^b, \\ S_y = [U_y V_y]_0^b.$$

Определим значения интегралов (25), используя (13), (14), (16) и (17):

$$I_{1x} = \frac{8a}{315} \gamma_{1x}, \quad J_{1x} = \frac{a}{14}, \\ I_{1y} = \frac{8b}{315} \gamma_{1y}, \quad J_{1y} = \frac{b}{14}, \\ I_{2x} = -\frac{12}{35a} \gamma_{2x}, \quad J_{2x} = -\frac{1}{5a}, \\ I_{2y} = -\frac{12}{35b} \gamma_{2y}, \quad J_{2y} = -\frac{1}{5b}, \quad (27) \\ I_{3x} = \frac{\gamma_{3x}}{35}, \quad J_{3x} = \frac{6\gamma_{3x}}{35}, \\ I_{3y} = \frac{\gamma_{3y}}{35}, \quad J_{3y} = \frac{6\gamma_{3y}}{35},$$

где

$$\gamma_{1x} = 91 + 999\gamma_x + 3024\gamma_x^2, \quad \gamma_{2x} = -5 + 28\gamma_x + 560\gamma_x^2, \\ \gamma_{3x} = 5 + 56\gamma_x, \quad \bar{\gamma}_{3x} = 5 + 14\gamma_x, \quad (28)$$

$$\gamma_{1y} = 91 + 999\gamma_y + 3024\gamma_y^2, \quad \gamma_{2y} = -5 + 28\gamma_y + 560\gamma_y^2, \\ \gamma_{3y} = 5 + 56\gamma_y, \quad \bar{\gamma}_{3y} = 5 + 14\gamma_y. \quad (29)$$

Определим значения величин $P_x, R_x, S_x, P_y, R_y, S_y$, входящих в коэффициенты уравнений системы (24). Учитывая равенства (24), (25) и (26), соотношения (26) можно представить в следующем виде:

$$P_x = \frac{12}{a} (1 + \gamma_x), \quad R_x = 0, \quad S_x = 1 + \gamma_x, \\ P_y = \frac{12}{b} (1 + \gamma_y), \quad R_y = 0, \quad S_y = 1 + \gamma_y. \quad (30)$$

Подставляя (30) в (24), после некоторых преобразований имеем

$$\left(K_x \bar{I}_{2x} I_{1y} + K_y I_{1x} \bar{I}_{2y} \right) F - K_x J_{3x} I_{1y} T_x - \\ - K_y I_{1x} J_{3y} T_y + B_p \omega^2 I_{1x} I_{1y} F = 0, \\ -K_x J_{3x} I_{1y} F + \left(D_{11} J_{2x} I_{1y} + D_{33} J_{1x} \bar{I}_{2y} - K_x J_{1x} I_{1y} \right) T_x - \\ - \left(D_{12} I_{3x} I_{3y} - D_{33} J_{3x} J_{3y} \right) T_y = 0, \\ -K_y J_{3y} I_{1x} F - \left(D_{12} I_{3x} I_{3y} - D_{33} J_{3x} J_{3y} \right) T_x + \\ + \left(D_{33} J_{1y} \bar{I}_{2x} + D_{22} J_{2y} I_{1x} - K_y J_{1y} I_{1x} \right) T_y = 0, \quad (31)$$

где

$$\bar{I}_{2x} = -\frac{24\bar{\gamma}_{2x}}{35a}, \quad \bar{I}_{2y} = -\frac{24\bar{\gamma}_{2y}}{35b}, \quad (32)$$

здесь

$$\bar{\gamma}_{2x} = 15 + 84\gamma_x + 280\gamma_x^2,$$

$$\bar{\gamma}_{2y} = 15 + 84\gamma_y + 280\gamma_y^2. \quad (33)$$

Преобразуем уравнения (31) таким образом, чтобы коэффициенты при неизвестных стали безразмерными. Для этого подставим соотношения (27) и (32) в систему (31), а затем умножим каждое уравнение на величину $99\,225\,ab/\sqrt{D_{11}D_{22}}$. В результате преобразований получим

$$\begin{aligned} 1\,728a_{11}F + 432a_{12}F_x + 432a_{13}F_y &= 64b_{11}\eta F, \\ 432a_{21}F + 36a_{22}F_x + 81a_{23}F_y &= 0, \\ 432a_{31}F + 81a_{32}F_x + 36a_{33}F_y &= 0, \end{aligned} \quad (34)$$

где

$$F_x = aT_x, \quad F_y = bT_y. \quad (35)$$

Коэффициенты $a_{i,j}$ ($i, j = 1, 2, 3$) имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \alpha \frac{\bar{\gamma}_{2x}\bar{\gamma}_{1y}}{\gamma_x} + \alpha \frac{1}{\gamma_y} \frac{\bar{\gamma}_{1x}\bar{\gamma}_{2y}}{\gamma_y}, \quad a_{22} = \alpha \frac{\bar{\gamma}_{3x}\bar{\gamma}_{1y}}{\gamma_x} + 135\beta_{33} \frac{\bar{\gamma}_{2y}}{\gamma_y}, \\ a_{33} &= \frac{1}{\alpha} \frac{\bar{\gamma}_{1x}\bar{\gamma}_{3y}}{\gamma_y} + 135\beta_{33} \frac{\bar{\gamma}_{2x}}{\gamma_y}, \end{aligned} \quad (36)$$

$$a_{13} = a_{31} = \frac{1}{\alpha} \frac{\bar{\gamma}_{1x}\bar{\gamma}_{3y}}{\gamma_y}, \quad a_{12} = a_{21} = \alpha \frac{\bar{\gamma}_{1y}\bar{\gamma}_{3x}}{\gamma_x},$$

$$a_{23} = a_{32} = \beta_{12}\bar{\gamma}_{3x}\bar{\gamma}_{3y} + 36\bar{\gamma}_{3x}\bar{\gamma}_{3y}, \quad b_{11} = \gamma_{1x}\bar{\gamma}_{1y},$$

где $\alpha, \beta_{12}, \beta_{33}$ – безразмерные параметры:

$$\begin{aligned} \alpha &= \sqrt{\frac{D_{11}}{D_{22}}} \frac{b^2}{a^2}, \quad \beta_{12} = \frac{D_{12}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}, \\ \beta_{33} &= \frac{D_{33}}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}. \end{aligned} \quad (37)$$

Величина η , входящая в первое уравнение системы (34), является безразмерным частотным параметром:

$$\eta = \frac{B_p \omega^2 a^2 b^2}{\sqrt{D_{11}D_{22}}}. \quad (38)$$

Таким образом, задача об определении основной частоты колебаний рассматриваемой трехслойной пластины сведена к вычислению безразмерного параметра η , при котором однородная система уравнений (34) будет иметь решение, отличное от нуля.

Получим формулу для параметра η . Используя второе и третье уравнения системы (34), исключим из первого уравнения неизвестные F_x и F_y . Затем, учитывая, что $F \neq 0$, получим для η следующее выражение:

$$\eta = \frac{27}{b_{11}} \left[a_{11} + 27 \frac{9a_{12}a_{13}a_{23} - 2(a_{22}a_{13}^2 + a_{33}a_{12}^2)}{16a_{22}a_{33} - 81a_{23}^2} \right]. \quad (39)$$

Частотный параметр η зависит от безразмерных параметров $\alpha, \beta_{12}, \beta_{33}, \gamma_x, \gamma_y$, значения которых определяются жесткостными и геометрическими характеристиками трехслойной пластины с композитными несущими слоями и ортотропным заполнителем.

Основная частота колебаний ω этой пластины при известном параметре η определяется по равенству (38):

$$\omega = \frac{\lambda}{ab} \sqrt{\frac{\sqrt{D_{11}D_{22}}}{B_p}}, \quad (40)$$

где $\lambda = \sqrt{\eta}$.

В качестве примера определим основную частоту колебаний для нескольких трехслойных пластин с двумя свободными краями, отличающихся размерами в плане, толщинами несущих слоев и заполнителя. Пусть несущие слои выполнены из материала со следующими параметрами: $E_x^{(i)} = 54,55$ ГПа, $E_y^{(i)} = 54,55$ ГПа, $G_{xy}^{(i)} = 20,67$ ГПа, $G_{xz}^{(i)} = 3,78$ ГПа, $G_{yz}^{(i)} = 3,78$ ГПа, $\nu_{xy}^{(i)} = 0,32$, $\nu_{yx}^{(i)} = 0,32$, $\rho_i = 1\,500$ кг/м³. Материал заполнителя характеризуется модулями сдвига $G_{xz}^{(h)} = 440$ МПа, $G_{yz}^{(h)} = 220$ МПа и плотностью $\rho_h = 83$ кг/м³. Рассмотрим пластины со следующими размерами в плане: $b = 1$ м, $a = 1$ и 2 м. Пусть суммарная толщина несущих слоев t равна $0,001$ и $0,002$ м, а толщина заполнителя h будет $0,01$; $0,05$; $0,1$ м. Безразмерный параметр η определяется с помощью формул (34), (38), (39). Для вычисления круговой частоты колебаний ω используется уравнение (40). Частоты колебаний $f = \omega/2\pi$ трехслойных пластин с различными значениями размеров a, t и h приведены в табл. 1.

Для проверки полученных результатов определим основную частоту колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями с помощью метода конечных элементов. Расчет выполним в пакете COSMOS/M. Для моделирования воспользуемся конечным элементом SHELL4L. Значения частот колебаний, вычисленных с помощью метода конечных элементов, представлены в табл. 2.

Сравнивая соответствующие частоты из табл. 1 и 2, можно сделать вывод, что разница между полученными результатами не превышает 5 %. Это дает основания утверждать, что определение основной частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями может быть достоверно выполнено с помощью предложенного в данной статье способа.

Таким образом, было получено решение задачи об определении основной частоты колебаний трехслойной

Таблица 1

Частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями

$t, \text{ м}$	$a = 1 \text{ м}$			$a = 2 \text{ м}$		
	$h = 0,01 \text{ м}$	$h = 0,05 \text{ м}$	$h = 0,1 \text{ м}$	$h = 0,01 \text{ м}$	$h = 0,05 \text{ м}$	$h = 0,1 \text{ м}$
0,001	30,759	93,808	139,648	19,084	58,426	87,377
0,002	35,492	117,428	179,770	22,038	73,458	113,415

Таблица 2

Частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями (МКЭ-решение)

$t, \text{ м}$	$a = 1 \text{ м}$			$a = 2 \text{ м}$		
	$h = 0,01 \text{ м}$	$h = 0,05 \text{ м}$	$h = 0,1 \text{ м}$	$h = 0,01 \text{ м}$	$h = 0,05 \text{ м}$	$h = 0,1 \text{ м}$
0,001	30,057	90,811	134,722	18,692	57,169	85,203
0,002	34,402	113,229	171,913	21,555	71,766	110,381

пластины, у которой два смежных края жестко закреплены, а два других свободны. Пластина состоит из двух одинаковых композитных несущих слоев и ортотропного заполнителя. Для решения динамической задачи был применен обобщенный метод Галеркина.

Выведена формула для определения основной частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями. Верификация этой формулы для пластин с различными жесткостными параметрами выполнена с помощью метода конечных элементов. Сравнение между собой результатов вычислений позволило сделать вывод о

пригодности выведенной в статье формулы для надежного и быстрого определения основной частоты колебаний трехслойной пластины с двумя свободными краями.

Библиографические ссылки

1. Zenkert D. An Introduction to sandwich construction. London : Chameleon Press, 1995.
2. Vinson J. R. The Behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials. Lancaster : Technomic, 1999.

A. V. Lopatin, P. O. Deev

DETERMINATION OF THE FUNDAMENTAL FREQUENCY FOR RECTANGULAR SANDWICH PLATE WITH TWO FREE EDGES

In the article the problem of fundamental frequency determination for sandwich plate with two clamped edges and two free edges is solved. Variation equations of plate dynamics were solved by generalized Galerkin method. The formula for general frequency determination has been obtained.

Keywords: sandwich plate, vibration frequency, generalized Galerkin method.

© Лопатин А. В., Деев П. О., 2011

УДК 681.332.53/519.676

В. Б. Малинкин, Е. И. Алгазин, А. В. Малинкин

ИНВАРИАНТНАЯ МНОГОВОЛНОВАЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ

Предложена структура инвариантной многоволновой волоконно-оптической системы передачи, позволяющая существенно повысить помехоустойчивость рассматриваемой системы.

Ключевые слова: инвариант, помехоустойчивость, вероятность ошибки, отношение сигнал/шум.

В работах [1–5] проведен анализ технических характеристик инвариантных методов передачи. Эти методы используют линейные и нелинейные операции обработки. К достоинствам данных методов можно отнести существенное (более чем на 3 порядка) уменьшение вероятности ошибочного приема. К недостаткам авторы относят сложность определения параметров канала связи, а также ухудшение качественных характеристик при увеличении алфавита инвариантной системы передачи информации (ИСПИ).

Постановка задачи. Имеется многоволновая волоконно-оптическая система передачи. Длины волн в окнах прозрачности обозначим через $\lambda_1 - \lambda_N$. Окна прозрачности выбраны для сигналов передачи таким образом, что сохраняется линейный режим обработки. На вход волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) поступает цифровой поток со скоростью V_0 . Требуется спроектировать многоволновую ИСПИ.

Решение поставленной задачи. Повышение мощности передаваемого сигнала в ВОСП приводит к появлению нелинейных эффектов. Поэтому повышение мощности

сигнала передачи не гарантирует уменьшения вероятности ошибочного приема.

Уменьшения вероятности ошибки в ВОСП можно достичь с помощью линейных инвариантных методов обработки с ограниченной мощностью передаваемого сигнала.

Данную задачу решим следующим образом. Цифровой поток со скоростью передачи V_0 разобьем на N отдельных подканалов. В каждом подканале скорость информационного сигнала будет $V_0/(N-1)$; N -й подканал отведен для передачи обучающего сигнала, как это принято в инвариантных системах. Каждый из подканалов модулирует соответствующую длину волны.

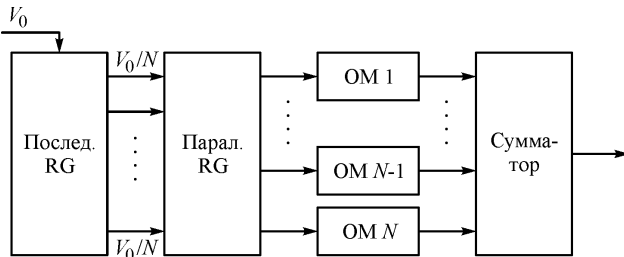
На приемной стороне каждая длина волны принимается оптическим фильтром, преобразуется в электрический вид, а затем подвергается обработке с помощью алгоритмов [1; 2]. Этот метод в научной литературе носит название «параллельной передачи».

В классических системах параллельной передачи по кабельным линиям и радиоканалам можно выделить следующие достоинства и недостатки.

К достоинствам данного метода можно отнести уменьшение линейной скорости в N раз.

К недостаткам параллельной передачи относят необходимость введения N полосовых фильтров в тракт приема, а также наличие амплитудно-частотных и фазочастотных искажений, вносимых этими фильтрами в сигнал приема.

Указанных выше недостатков удастся избежать в волоконно-оптических системах передачи (рис. 1).



Послед. RG – последовательный регистр

Парал. RG – параллельный регистр

ОМ – оптический модулятор

Рис. 1. Структура передающей части инвариантной волоконно-оптической системы передачи информации

Принцип действия такого устройства следующий: цифровой поток V_0 поступает на последовательный регистр с частотой следования символов. Обычно длина регистра выбирается кратной двум ($N = 2, 4, 8, 16$ и т. д.). При заполнении последовательного регистра сигналом цикловой синхронизации данные переписываются в параллельный регистр. Будем называть эту информацию кадром передачи. Данный кадр будет храниться до накопления в последовательном регистре нового кадра. При этом скорость передачи информационного сигнала уменьшается в $(N - 1)$ раз. При этом оптические модуляторы $OM_1 - OM_{(N-1)}$ используются для передачи информационного сигнала, а оптический модулятор OM_N будет использоваться для передачи обучающего сигнала.

Эпюры сигнала передачи представлены на рис. 2.

Структура приемной части представлена на рис. 3.

Принимаемый сигнал из оптического волокна параллельно поступает на N оптических демодуляторов. В каждом оптическом демодуляторе производится восстановление двоичного сигнала данного подканала. Если подать сигнал с выходов оптических демодуляторов через мультиплексор MS_1 , то получается обычная многоволновая волоконно-оптическая система передачи.

В предлагаемой структуре сигнал в электрической форме с выхода оптических полосовых фильтров ОПФ₁ – ОПФ _{$N-1$} дополнительно подается на вычислители инвариантов. Вычислители инвариантов используют пилот-сигнал (сигнал обучения), который передается в N -м окне прозрачности.

В каждом канале вычислителя инвариантов производится расчет оценки инварианта по следующей формуле [3; 4]

$$\lambda_{INV} = \frac{\sum_{n=1}^L (kS_{i\text{ инф}}(nT) + \xi_i(nT))}{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^L (kS_{об}(nT) + \eta(m, nT))}, \quad (1)$$

где $S_{i\text{ инф}}(nT)$ – отсчеты информационного сигнала в i -м канале; $\xi_i(nT)$ – отсчеты аддитивного шума оптического волокна в i -м канале; $S_{об}$ – отсчеты обучающего сигнала, передаваемого по N -му каналу; $h(nT)$ – отсчеты аддитивной помехи в N -м окне прозрачности, M – количество усреднений обучающего сигнала; L – количество отсчетов информационного и обучающего сигнала на интервале анализа; k – коэффициент передачи канала связи (оптического волокна).

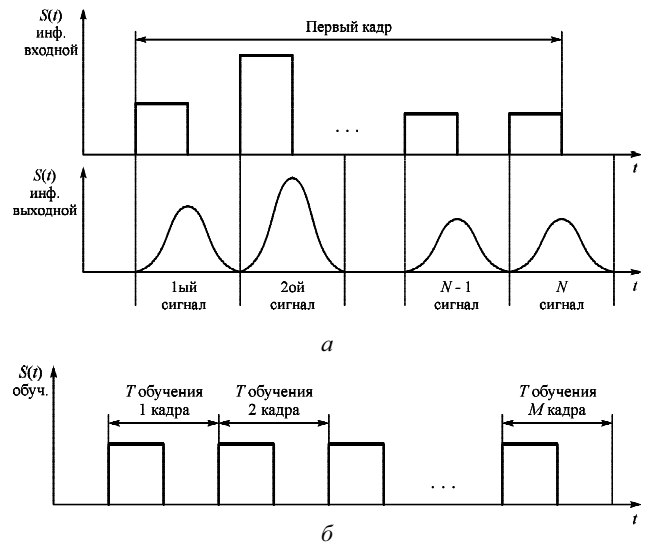


Рис. 2. Эпюры сигнала передачи: а – исходный двоичный сигнал и двоичный сигнал на выходе ВОЛС (первый кадр); б – обучающий сигнал после накопления

Коэффициент передачи канала связи k возможно определить с помощью обучающей последовательности при помощи выражения [1–5]

$$\hat{k} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^L (kS_{обуч}(nT) + \eta(m, nT))}{\sum_{n=1}^L S_{обуч}(nT)}, \quad (2)$$

где $\hat{k}$ – оценка коэффициента передачи канала связи (оптического волокна).

Выражение (2) производит усреднение аддитивной помехи с последующим вычислением оценки коэффициента передачи канала связи.

При таком подходе в работах [1–5] доказано, что вероятность ошибки каждого подканала при выбранных инвариантах $INV_1 = 1$, $INV_2 = 9$ составляет 10^{22} (отношение сигнал/помеха равно 6).

Усредненная вероятность ошибочного приема при одинаковых вероятностях ошибочного приема в подканалах будет определяться вероятностью ошибки в одном подканале.

Вероятность ошибочного приема ИСПИ ВОСП существенно меньше вероятности ошибочного приема в существующих системах SDH.

В этих системах даже при использовании циклических кодов с исправлением ошибок вероятность ошибочного приема составляет 10^{-14} .

Итак, предложен инвариантный метод многоволновой передачи в ВОСП, позволяющий существенно умень-

шить вероятность ошибочного приема по сравнению с классической ВОСП.

Библиографические ссылки

1. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : монография / Е. И. Алгазин, В. Б. Малинкин, Д. Н. Левин, В. Н. Попантопуло ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Красноярск : Поликом, 2006.
2. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации при наличии слабых корреляционных свя-

зей и собственных шумов генераторного оборудования // Ом. науч. вестн. № 3(70). 2008. С. 122–126.

3. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Инвариантная некогерентная система передачи и ее характеристики // Ом. науч. вестн. № 4(73). 2008. С. 154–158.

4. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Оценка помехоустойчивости инвариантной системы обработки информации при некогерентном приеме // Вестник СибГАУ. Вып. 2(19). 2008. С. 38–42.

5. Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации при наличии слабых корреляционных связей // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 29–32.

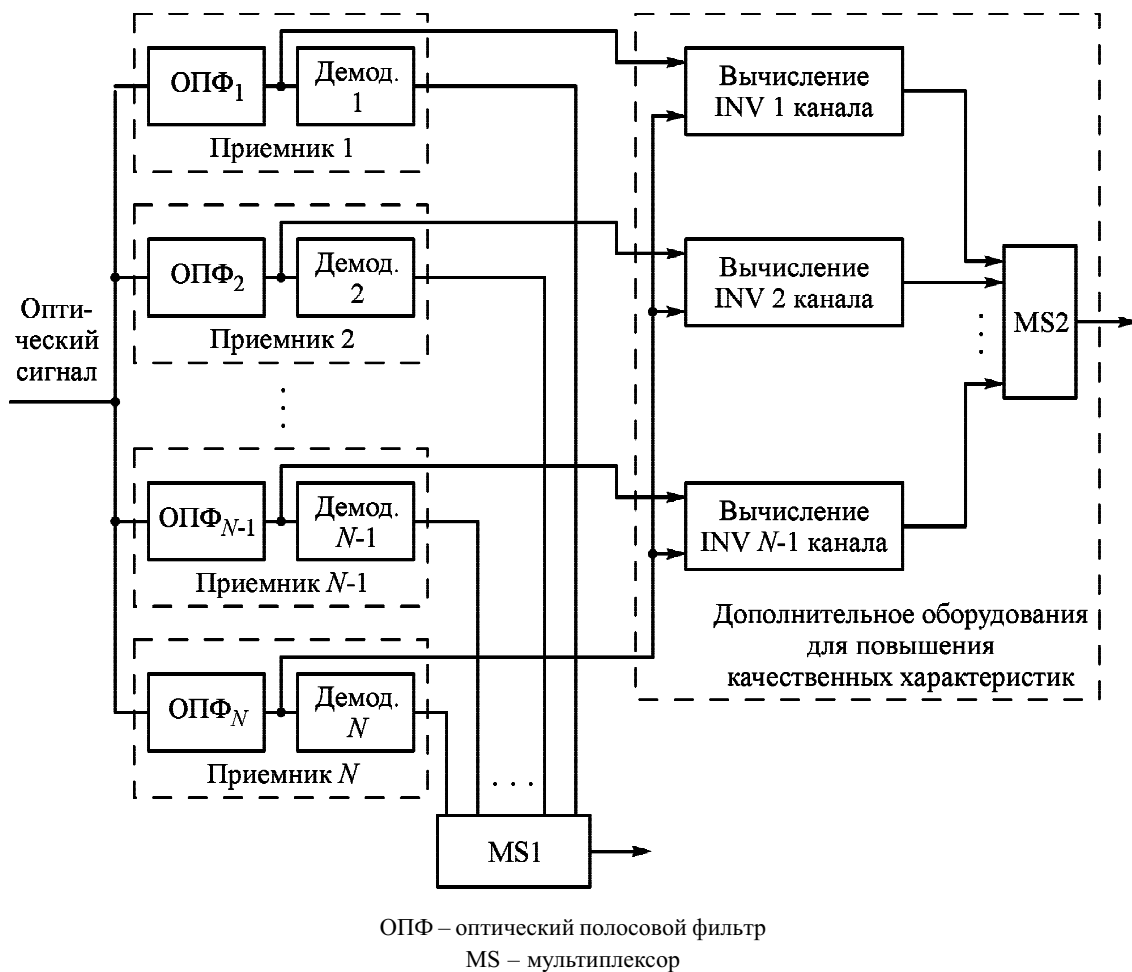


Рис. 3. Структура приемной части инвариантной волоконно-оптической системы передачи информации

V. B. Malinkin, E. I. Algazin, A. V. Malinkin

INVARIANT MULTICOMPONENT FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEM

The authors offer structure of invariant multi-wave fiber-optic transmission systems, wich allows to significantly improve noise immunity of the system.

Keywords: invariant, noise immunity, probability of error, signal to noise ratio.

© Малинкин В. Б., Алгазин Е. И., Малинкин А. В., 2011

С. Н. Назаров, А. А. Шагарова, А. И. Пятаков, А. С. Назаров

ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ РАДИОСТАНЦИЕЙ ПО КАНАЛАМ ДАЛЬНОЙ СВЯЗИ

Проанализированы пути разрешения проблемы нехватки пропускной способности в радиосетях декаметрового диапазона, в том числе и военного назначения. Разработан алгоритм функционирования адаптивных систем радиосвязи с одновременной передачей в одном канале информационных сообщений и команд управления режимами работы радиостанции, а также методика оценки параметров шумоподобных сигналов, используемых для переноса команд управления.

Ключевые слова: команда управления, спектральная плотность сигнала, уровень шума.

При использовании радиостанции в режиме приема и передачи информации от ПЭВМ возникает необходимость дистанционного управления ее режимами работы, скоростью передачи, мощностью излучения, что требует принятия определенных технических решений по разработке специальных алгоритмов управления как сопрягаемой, так и удаленной радиостанцией.

Существующие способы дистанционного управления радиостанцией нуждаются в использовании дополнительных канальных или временных ресурсов, так как передача команд управления ведется либо по отдельно выделенной линии дистанционного управления, либо в составе информационного канала, но при этом связана с прерыванием обмена оперативной информацией между корреспондентами, а следовательно, с неминуемыми перерывами связи [1].

Одним из путей разрешения этой проблемы является передача в общей полосе полезного сигнала и команд управления. Это возможно, если в качестве команд управления использовать шумоподобные сигналы, корреляционная функция и спектр плотности которых близок к аналогичным характеристикам квазибелого шума. Шумоподобные сигналы относятся к классу сложных сигналов, база которых $B = 2FT \gg 1$.

Анализ использования шумоподобных сигналов в технике радиосвязи. В работе [1] информационные сигналы и синхронизирующую последовательность предлагается передавать в общей полосе канала связи. Можно развить эту идею и передавать вместо синхронизирующей последовательности смысловую информацию, в частности команды управления режимами работы радиостанции.

Для получения шумоподобных сигналов может быть использована технология уширения спектра (Spread Spectrum, SS) [2]. Эта технология подразумевает, что первоначально узкополосный (в смысле ширины спектра) служебный сигнал при передаче преобразуется таким образом, что его спектр оказывается значительно шире спектра первоначального сигнала, т. е. спектр сигнала как бы размывается по частотному диапазону (рис. 1).

Одновременно с уширением спектра сигнала происходит и перераспределение спектральной энергетической плотности сигнала: энергия сигнала также размывается по спектру. В результате максимальная мощность преобразованного сигнала оказывается значительно ниже мощности исходного сигнала. При этом уровень служеб-

ного сигнала может сравниться с уровнем естественного шума. В результате сигнал становится в каком-то смысле невидимым, теряясь на уровне естественного шума или информационного сигнала.

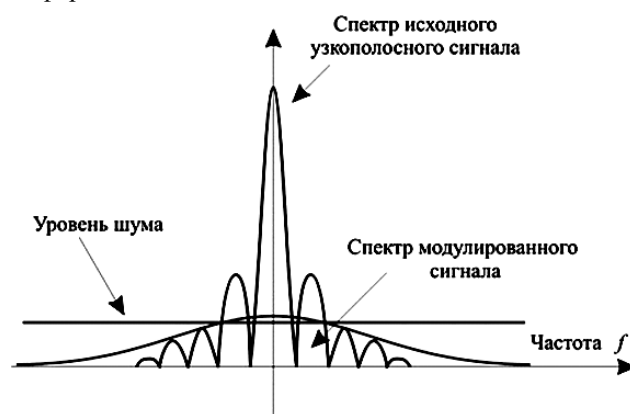


Рис. 1. Преобразование спектра исходного служебного сигнала

Технология уширения спектра была предложена для одновременного совместного использования в одном частотном диапазоне радиостанций, не мешающих друг другу. Из всех разновидностей технологии уширения спектра для этих целей наиболее подходящей является технология уширения спектра методом прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) (рис. 2).

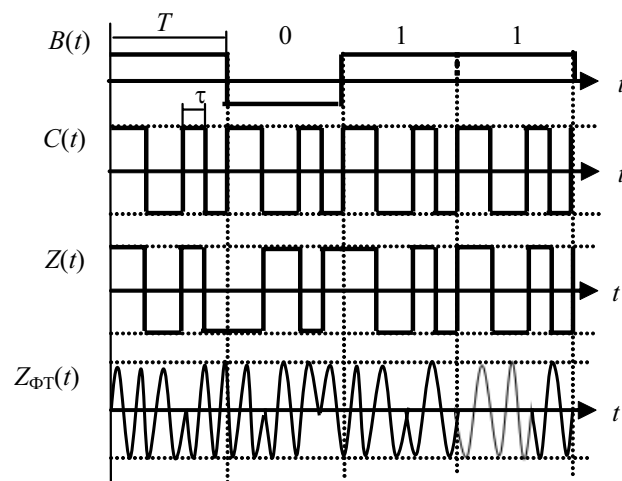


Рис. 2. Диаграммы формирования DSSS-последовательности

При потенциальном кодировании биты служебной информации $B(t)$ – логические нули и единицы – передаются прямоугольными импульсами напряжений. Прямоугольный импульс длительности T имеет спектр, ширина которого обратно пропорциональна длительности импульса. Поэтому чем меньше длительность служебного бита, тем больший спектр занимает такой сигнал.

Для преднамеренного уширения спектра первоначально узкополосного сигнала в технологии DSSS в каждый передаваемый служебный бит встраивается последовательность так называемого заполнения, длительность импульса τ которого в несколько раз меньше длительности служебного бита. Поскольку длительность одного элемента заполнения в n раз меньше длительности служебного бита, то и ширина спектра преобразованного сигнала будет в n раз больше ширины спектра первоначального сигнала. При этом и амплитуда передаваемого сигнала уменьшится в n раз.

Элементы заполнения, встраиваемые в информационные биты, называют шумоподобными кодами, а результирующий сигнал становится шумоподобным и его трудно отличить от естественного шума.

Использование шумоподобных сигналов в каналах дистанционного управления. Согласно предлагаемому алгоритму, служебная информация $B(t)$, которая при цифровой связи также представляет собой последовательность импульсов, но значительно большей длительности, перемножается с псевдослучайной последовательностью (ПСП), как показано на рис. 3. Полученный шумоподобный сигнал $Z(t)$ суммируется с основным полезным сигналом и передается в канал связи. Передаваемый сигнал $Y(t)$ можно представить в виде

$$Y(t) = S(t) + Z(t), \quad (1)$$

где $S(t)$ – основной сигнал; $Z(t)$ – шумоподобный сигнал.

Полезный сигнал $S(t)$ для служебной информации $Z(t)$ в этом случае играет роль мощной помехи еще до передачи в канал связи. Полученная последовательность $Z(t)$ является комбинационной, по своим внешним свойствам, т. е. по ширине спектра и виду автокорреляционной функции, она практически не отличается от исходной ПСП, но несет в себе полезный сигнал. При условии линейной независимости или ортогональности полезный сигнал и служебная информация могут передаваться одновремен-

но. На приемной стороне после вычисления функции взаимной корреляции поступающего сигнала

$$B(t, \tau) = \int_0^T S(t) \cdot \varphi(t, \tau) dt + \int_0^T Z(t) \cdot \varphi(t, \tau) dt \quad (2)$$

можно выделить составляющие основного и шумоподобного сигналов (рис. 4).

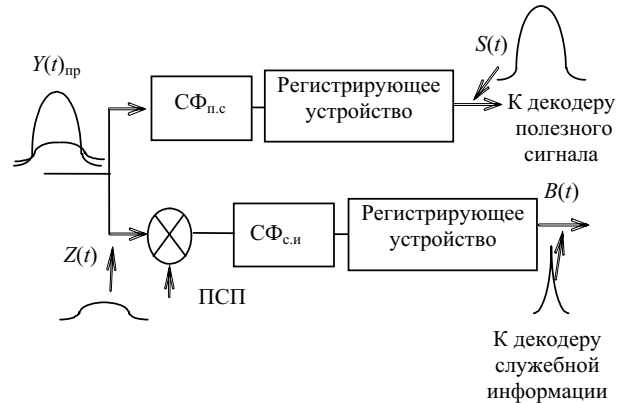


Рис 4. Структурная схема приемника

В качестве корреляторов используются согласованные фильтры (СФ), задачей которых является не восстановление формы сигнала, искаженного шумом, а получение одного отсчета, по которому можно судить о присутствии или отсутствии на входе фильтра сигнала известной формы: либо основного $S(t)$, либо шумоподобного $Z(t)$. Шумоподобный сигнал $Z(t)$ перемножается на приеме с ПСП, образованной в приемнике и полностью совпадающей с ПСП, используемой в передатчике. В случае корреляционного приема, когда $B(t)$ равно 1, амплитуда «шумов», т. е. полезного сигнала, уменьшается примерно в N раз, причем величину N можно выбрать произвольно.

Метод шумоподобной передачи был открыт К. Шенноном, который впервые ввел в рассмотрение понятие пропускной способности канала связи:

$$C = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right), \quad (3)$$

где C – пропускная способность канала связи; ΔF – полосы пропускания канала связи; P_c – мощность сигнала; $P_{ш}$ – мощность шума.

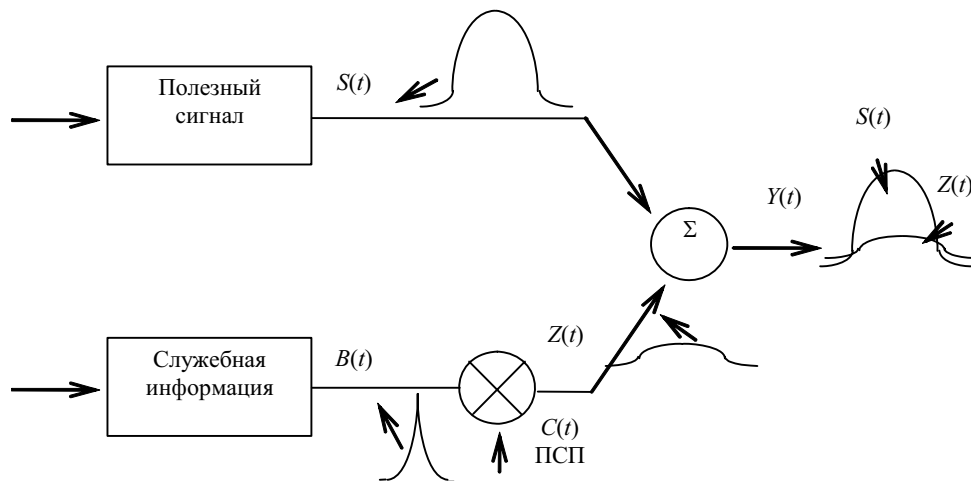


Рис. 3. Структурная схема передатчика информации

Это уравнение устанавливает связь между возможностью осуществления безошибочной передачи информации по каналу связи с заданным соотношением сигнал/шум и полосой частот, отведенной для передачи информации.

В соответствии с нормами на каналы передачи данных, шумовая защищенность должна составлять $10 \cdot \log_2 \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \approx 35$ дБ. Исходя из этих соображений, выберем соотношение основного и шумоподобного сигналов равным $10 \cdot \log_2 \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 40$ дБ. Очевидно, что этот уровень мощности шумоподобного сигнала практически не влияет на достоверность основного сигнала. Перевод децибел в разы показывает, что основной сигнал должен в 56 раз превосходить по уровню шумоподобный.

Полагая, что пропускная способность C равна максимально необходимой скорости передачи служебной информации по каналу связи $C = N_{\text{max}}$, решим обратную задачу Шеннона, в которой в качестве сигнала выступает команда управления радиостанцией, представленная шумоподобным сигналом, а под шумом понимается информационный сигнал. В этом случае $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = \frac{1}{56} \ll 1$.

Для значения $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} < 1$ справедливо выражение [3]:

$$\log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right) \approx \frac{P_c}{P_{\text{ш}}}. \quad (4)$$

Тогда $N_{\text{max}} \approx \Delta F \cdot \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 3100 \cdot \frac{1}{56} = 55,4$ бит/с.

Таким образом, если выполнить условие $N_{\text{пер}} < N_{\text{max}}$ и выбрать стандартную скорость передачи $N_{\text{пер}} = 50$ бит/с, то можно практически в реальном масштабе времени управлять режимами работы радиостанции, не прекращая передачи основного потока информации.

Предлагаемый алгоритм является универсальным и может быть применен для различных видов радиолиний, как одно-, так и многоканальных, с различными видами модуляции и способами обработки сигнала на приеме.

Расчет параметров шумоподобных сигналов. Выбор энергетических параметров основного сигнала и сигнала

управления радиостанцией проведем исходя из условия равной различимости этих сигналов. Равное различение этих сигналов возможно в случае существования равенства

$$P_c \cdot T_c = P_{\text{шп}} \cdot T_{\text{шп}}, \quad (5)$$

где $P_c, P_{\text{шп}}$ – мощность основного и шумоподобного сигналов; $T_c, T_{\text{шп}}$ – длительность единичного интервала основного и шумоподобного сигналов.

В качестве критерия выберем допустимое значение вероятностей ошибки основного сигнала $P_{\text{пр}}$, при условии введения в информационный тракт шумоподобных сигналов, мешающих управлению радиостанцией. Выражения для расчета вероятности ошибки при различных видах модуляции и способах обработки сигнала на приеме приведены в таблице.

Используя эти выражения, построим графики зависимости $P_{\text{ош}} = f(h^2)$ при использовании сигналов ЧТ, ДЧТ и ОФТ (рис. 5). Задавая значение требуемой вероятности ошибки $P_{\text{пр}}$, по выражению (5) легко определить необходимое значение h^2 :

$$h^2 = \frac{P_c}{P_{\text{шп}}} = \frac{T_{\text{шп}}}{T_c}. \quad (6)$$

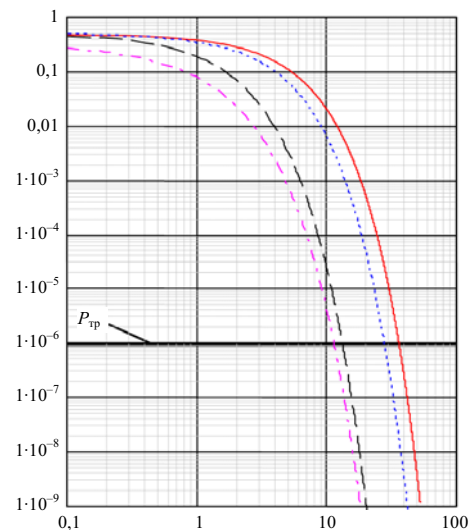


Рис. 5. Графики зависимости вероятности ошибки от соотношения мощностей сигнал/шум в канале связи: — ЧТ; — ДЧТ; — — — — ОФТ_к; — · — — — ОФТ_{нк}

Значения вероятностей ошибок

Манипуляция	Вид обработки сигнала	
	некогерентный	когерентный
Амплитудная	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-0,25 h^2}$	$P_{\text{ош}} = 1 - F(h\sqrt{0,5})$
Частотная	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-0,5 h^2}$	$P_{\text{ош}} = 1 - F(\sqrt{h^2})$
Фазовая	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-0,25 h^2}$	$P_{\text{ош}} = 1 - F(h\sqrt{2})$
Относительная фазовая	$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} e^{-h^2}$	$P_{\text{ош}} = 2 \left[1 - F(h\sqrt{2}) \right] \cdot F(h\sqrt{2})$

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: $h^2 = \frac{P_c}{P_{\text{шп}}}$ – отношение мощностей основного и шумоподобного сигналов; $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – интеграл вероятности.

Тогда мощность шумоподобного сигнала управления радиостанцией составит

$$P_{\text{шп}} = \frac{P_c}{h^2}, \quad (7)$$

а скорость передачи –

$$N_{\text{шп}} = \frac{N_c}{h^2}. \quad (8)$$

Таким образом, зная параметры информационного сигнала и требования к достоверности передачи информации, всегда можно рассчитать параметры служебного широкополосного сигнала.

Применение адаптивных радиолиний дециметрового диапазона характеризуется неэффективным использованием частотного диапазона из-за перерывов в связи для передачи команд управления взаимодействующими радиостанциями. Предлагаемый алгоритм пере-

дачи служебной информации на основе шумоподобных широкополосных сигналов обладает более высокой информационной эффективностью за счет одновременной передачи в одной полосе частот как информационного, так и служебного сигнала при условии обеспечения требуемой достоверности передачи информационных сообщений.

Библиографические ссылки

1. Игнатов В. В., Килимник Ю. П., Никольский И. Н. Военные системы радиосвязи / Воен. акад. связи. Л., 1989.
2. Зегерс А. Передача в общей полосе информационных сигналов и синхронизирующих последовательностей // Зарубеж. радиоэлектроника. 1970. № 1. С. 4–19.
3. Маковеева М. М., Шинаков Ю. С. Системы связи с подвижными объектами : учеб. пособие для вузов. М. : Радио и связь, 2002.

S. N. Nazarov, A. A. Shagarova, A. I. Pyatakov, A. S. Nazarov

NOISE-LIKE SIGNALS AT REMOTE CONTROL BY RADIO STATION ON LONG-DISTANCE COMMUNICATION CHANNELS

The work analyses issues of shortage of throughput in radio networks of decimeter gamut, including military-oriented networks. The work is devoted to investigation of algorithm of functioning of adaptive systems of radio communication with simultaneous transfer to one channel of information and commands, controlling radio station operating modes. The article also dwells upon technique of estimation for parameters of noise-like signals, used for carrying over commands of control.

Keywords: control command, spectral density of a signal, noise level.

© Назаров С. Н., Шагарова А. А., Пятаков А. И., Назаров А. С., 2011

УДК 519.71; 62.50

В. В. Осипов

О СВЯЗИ ТОЧЕЧНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ФУНКЦИЙ И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ЛАПЛАСУ

Рассматривается обращение преобразований Лапласа методом точечных представлений и связь точечных представлений функций-оригиналов и их изображений на некоторых частных случаях. Полученные модели могут использоваться при моделировании и проектировании динамических систем.

Ключевые слова: метод точечных представлений, точечное моделирование.

Теорема о точечном изображении свертки [1] явно указывает на наличие аналитической связи между преобразованиями Лапласа (L -преобразованиями) сворачиваемых функций и их точечными представлениями, ассоциированными с чебышевской сеткой первого рода.

Рассмотрим свертку функций $g(t)$ и δ -функции $\delta(t)$:

$$g \cdot \delta = \int_0^t g(t-\eta)\delta(\eta)d\eta = \int_0^t \delta(t-\eta)g(\eta)d\eta = g(t). \quad (1)$$

Точечное изображение δ -функций согласно [1] имеет вид

$$\begin{aligned} \delta(t) \xrightarrow{T_I} \delta_{T_I} &= \frac{1}{\lambda_0} (E_N + Z)^{-1} \bar{e}_1 = \\ &= \frac{1}{\lambda_0} \text{Colon} [1, -1, \dots, (-1)^{N-1}, \dots, (-1)^{N-1}]. \end{aligned}$$

Поэтому получим две формы точечного представления свертки (1):

$$\begin{aligned} g \cdot \delta &= g(t) \xrightarrow{T_I} \bar{g}_{T_I} = \\ &= \begin{cases} \lambda_0 (E_N + Z) \cdot T_N(\bar{g}_{T_I}; Z) \bar{\delta}_{T_I} = \bar{\bar{g}}_{T_I}, \\ \frac{1}{\lambda_0} (E_N + Z)^{-2} \cdot T_N(\bar{W}^{(N)}; Z) \bar{e}_1 = \frac{1}{\lambda_0} (E_N + Z)^{-1} \bar{W}^{(N)}, \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

где $E_N = Z^0$ – единичная матрица размерности $N \times N$. Скалярный множитель $\lambda_0 = \frac{T}{2N}$ имеет смысл половины временного расстояния между узлами N -сетки. Символом Z^k ($k = 0, 1, \dots, (n-1)$) обозначены канонические матрицы сдвига размерности $N \times N$, введенные в [1]. Это теплицевы матрицы с элементными N -векторами в виде единичных векторов

$$\bar{e}_{k+1}^{(N)} = \text{Colon} \left[\underbrace{0, \dots, 0}_k, 1, 0, \dots, 0 \right] \times \overline{(k=0, n-1)}.$$

Две формы (2) точечного представления свертки приближенно равны друг другу. Таким образом, мы приходим к равенству

$$\bar{g}_{Tl} = \frac{1}{\lambda_0} (E_N + Z)^{-1} \cdot \bar{W}^{(N)} \Leftrightarrow \lambda_0 (E_N + Z) \bar{g}_{Tl} = \bar{W}^{(N)}, \quad (3)$$

устанавливающему аналитическую связь между точечными N -векторами:

$$\begin{aligned} \bar{g}_{Tl} &= \text{Colon} [g_{1l}, \dots, g_{vl}, \dots, g_{Nl}, \dots], \\ \bar{W}^{(N)} &= \text{Colon} [W_0, 2W_1, \dots, 2W_k, \dots, 2W_{N-1}], \end{aligned} \quad (4)$$

причем координаты вектора $\bar{W}^{(N)}$ определяются по формулам

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{1}{2k!} \frac{d^k}{dz^k} W^*(z) \Big|_{z=0} = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{q=1}^k \frac{(2\lambda_0)^q}{q!} \binom{k-1}{q-1} [F_g^*(\lambda)]_{\lambda=\lambda_0}^{[q]}, \quad k=1, (N-1), \\ W_0 &= F_g^*(\lambda_0) = W^*(0). \end{aligned} \quad (5)$$

Векторно-матричное равенство (3) в развернутой форме дает систему

$$\begin{aligned} \lambda_0 (E_N + Z) \bar{g}_{Tl} &= \\ = \bar{W}^{(N)} \Leftrightarrow \left\{ \begin{aligned} \lambda_0 g_{1l} &= W_0, \\ \lambda_0 (g_{1l} + g_{2l}) &= 2W_1, \\ &\dots \\ \lambda_0 (g_{(v-1)l} + g_{vl}) &= 2W_{v-1}, \\ &\dots \\ \lambda_0 (g_{(N-1)l} + g_{Nl}) &= 2W_{N-1}, \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (6)$$

или рекуррентное равенство

$$\lambda_0 g_{vl} = 2W_{v-1} - \lambda_0 g_{(v-1)l} \quad (v=2, 3, \dots, N) \quad (7)$$

при начальном условии

$$\lambda_0 g_{1l} = W_0 = F_g^*(\lambda_0). \quad (8)$$

Этим устанавливается явная связь между координатами N -векторов (4), т. е. между отсчетами $g(T\tau_v^{(N)}) = g_{vl}$ ($v=1, N$) временной функции $g(t) = g(T\tau) \in M(0, 1)$ в узлах чебышевской N -сетки первого рода и, в конечном счете, между производными инверсного преобразования Лапласа $F_g^*(\lambda)$ этой функции при $\lambda = \lambda_0$.

Рекуррентное соотношение (7) позволяет находить приближенные значения координат точечного изображающего N -вектора g_{Tl} временной функции $g(t) \in M(0, T)$ по ее операторному изображению $F_g(p)$ через предварительный переход к инверсному изобра-

жению $F_g^*(\lambda) = F_g\left(\frac{1}{\lambda}\right)$ с последующим определением ее $(N-1)$ первых производных в точке $\lambda = \lambda_0$, по которым находятся величины (5), а затем по рекуррентным равенствам (7) – и отсчеты $g_{vl} = g(T\tau_v^{(N)})$ ($v=1, N$) функции $g(t) = g(T\tau)$, $\tau \in [0, 1]$.

Таким образом, мы получаем способ (алгоритм) приближенного обращения L -преобразования в форме точечного изображающего N -вектора $\bar{g}_{Tl}$ функции-оригинала $g(t)$ в промежутке $[0, T]$, который в подобной трактовке становится достаточно конструктивным лишь в некоторых частных случаях.

Это связано с тем, что процедура непосредственного определения производных инверсной функции $F_g^*(\lambda)$ в формулах (5) с ростом их порядка становится все более громоздкой и трудновыполнимой даже при сравнительно простых формульных представлениях, хотя в отдельных случаях эта задача может быть эффективно решена путем применения некоторых нестандартных приемов. В частности, величины W_k ($k=1, (N-1)$) могут быть найдены по инверсному изображению $F_g^*(\lambda) = F_g^*(\lambda(z))$, предварительно преобразованному в виде функции комплексного переменного z , поскольку они оказываются просто коэффициентами частичной N -суммы степенного разложения этой функции в центральном единичном круге:

$$\begin{aligned} F_g^*(\lambda) &= F_g^*(\lambda(z)) = \\ &= W^*(z) \cong W_0 + 2 \sum_{k=1}^{N-1} W_k Z^k, \quad |z| \leq 1, \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{1}{2k!} \frac{d^k W^*(z)}{dz^k} \Big|_{z=0} \quad (k=1, (N-1)); \\ W_0 &= W^*(0) = F_g^*(\lambda_0). \end{aligned} \quad (10)$$

Однако для простых инверсных функций $F_g^*(\lambda(z))$ дробно-рационального вида полиномиальные представления могут быть получены без использования общих формул (10), а в результате алгебраических преобразований с последующим использованием уже известных разложений. Такой способ определения величин W_k ($k=1, (N-1)$) оказывается более конструктивным, однако он также ограничен по своим возможностям.

В качестве примера рассмотрим обращение преобразования Лапласа вида простейшей рациональной дроби

$$F_g(p) = \frac{1}{p+a} \rightarrow e^{-at} = g(t) \quad (a > 0), \quad (11)$$

т. е. найдем покоординатное приближение точечного изображающего N -вектора $\bar{g}_{Tl} = \bar{g}_l$ функции $g(t) = e^{-at}$ на отрезке $[0, T]$ по ее L -изображению $F_g(p)$.

Перейдем к инверсному преобразованию

$$F_g\left(\frac{1}{\lambda}\right) = F_g^*(\lambda) = F_g^*(\lambda(z)) = \frac{\lambda(z)}{1+a\lambda(z)}. \quad (12)$$

Принимая $\lambda(z) = \lambda_0 \frac{1+z}{1-z}$, найдем для $F_g^*(\lambda(z))$ как для функции уже комплексной переменной z , определенной в круге $|z| \leq 1$, представление в виде разложения по степеням z . При этом возможно использование уже известного разложения и без применения общего метода. Тогда имеем

$$\begin{aligned}\frac{\lambda(z)}{1+a\lambda(z)} &= \frac{\lambda_0(1+z)}{(1-z)+a\lambda_0(1+z)} = \\ &= \frac{\lambda_0}{1+a\lambda_0} \cdot \frac{1+z}{\left(1-\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}z\right)} = W^*(z).\end{aligned}\quad (13)$$

При положительных значениях вещественного параметра a окажется, что $\left|\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right| < 1$ и $\left|\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}z\right| < 1$ в центральном единичном круге $|z| \leq 1$, поэтому дробно-рациональная функция в (13) будет в этом круге аналитической и представимой рядом Тейлора:

$$\begin{aligned}\frac{1}{1-\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}z} &= 1 + \\ &+ \sum_{v=1}^{\infty} \left(\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right)^v z^v = \sum_{v=0}^{\infty} \left(\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right)^v z^v, \quad |z| \leq 1.\end{aligned}\quad (14)$$

Таким образом, для $W^*(z)$ получим

$$\begin{aligned}F_g^*(\lambda(z)) = W^*(z) &= \frac{\lambda_0}{1+a\lambda_0} \cdot \frac{(1+z)}{\left(1-\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}z\right)} = \\ &= \frac{\lambda_0}{1+a\lambda_0} (1+z) \sum_{v=0}^{\infty} \left(\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right)^v z^v = \\ &= \frac{\lambda_0}{1+a\lambda_0} \left[1 + \frac{2}{1+a\lambda_0} \sum_{v=1}^{\infty} \left(\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right)^{v-1} \cdot z^v \right] = \\ &= W_0 + 2 \sum_{v=1}^{\infty} W_v \cdot z^v,\end{aligned}\quad (15)$$

откуда следует, что

$$\begin{aligned}W_0 &= \frac{\lambda_0}{1+a\lambda_0}, \\ W_v &= \frac{\lambda_0(1-a\lambda_0)^{v-1}}{(1+a\lambda_0)^{v+1}} \quad (v=1, 2, \dots).\end{aligned}\quad (16)$$

По этим величинам с использованием рекуррентного равенства (7) могут быть последовательно найдены и g_{vl} ($v=1, 2, \dots, N$) – приближенные координаты точечного изображающего N -вектора функции $g(t) = e^{-at}$ на отрезке $[0, T]$, ассоциированного с чебышевской N -сет-

кой $t_v^{(N)} = T\tau_v^{(N)} = T \cdot \frac{2v-1}{2N}$ ($v=\overline{1, N}$). Общая рекуррентная формула для определения искомых координат точечного изображающего N -вектора $\bar{g}_{TI}$ функции $g(T\tau) = e^{-aT\tau}$ имеет вид

$$\begin{aligned}g_{vl} &= \frac{2(1-a\lambda_0)^{v-2}}{(1+a\lambda_0)^v} - \frac{(1-a\lambda_0)^{v-2}}{(1+a\lambda_0)^{v-1}} = \\ &= \frac{(1-a\lambda_0)^{v-1}}{(1+a\lambda_0)^v} = \frac{1}{1+a\lambda_0} \cdot \left(\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right)^{v-1} \quad (v=\overline{1, N}).\end{aligned}\quad (17)$$

Точные значения этих координат, т. е. отсчеты экспоненты $e^{-at} = e^{-aT\tau}$ в узлах чебышевской N -сетки первого

рода $\tau_v^{(N)} = \frac{2v-1}{2N}$, ($v=\overline{1, N}$), будут следующими:

$$\begin{aligned}e^{-aT\tau_v^{(N)}} &= e^{-\frac{aT}{2N}(2v-1)} = e^{-a\lambda_0(2v-1)} = \\ &= \exp(-a\lambda \cdot (2v-1)) \quad (v=\overline{1, N}).\end{aligned}\quad (18)$$

Производя численные расчеты, можно увидеть хорошее совпадение значений координат, вычисленных по формуле (17), с их точными значениями и только по последней координате расхождение оказывается более значительным. Однако погрешность по этой координате ввиду ее малости заметной роли не играет. Если же увеличить размерность N , не меняя других параметров, то погрешность по всем координатам не будет превышать 1 %.

Рассмотренный выше пример по обращению простейшего преобразования Лапласа дробно-рационального вида (11) в форме точечного изображающего N -вектора $\bar{g}_{TI}$ функции-оригинала $g(t) = e^{-at}$ этого преобразования имеет самостоятельное и особое значение, так как на его основе могут быть получены точечные изображения других часто используемых элементарных функций, содержащих экспоненты, по их лапласовым изображениям.

Это объясняется тем, что и точечное изображение $\bar{g}_{TI}$ экспоненты e^{-at} , и ее лапласово изображение (11), по которому в результате отображений определяется точечный изображающий вектор $\bar{g}_{TI}$, оказываются явными однозначно связанными и непрерывными функциями параметра a . Иными словами, различным операциям над L -изображением $F_g(p) = F_g(p; a)$ (и функцией-оригиналом $g(t) = g(t; a) = e^{-at}$) как функциям параметра a будут соответствовать такие же операции над их точечным N -векторным отображением $\bar{g}_{TI}(a)$ как функцией того же параметра a . Возникающим при этом новым лапласовым изображениям новых функций-оригиналов будут соответствовать их точечные изображения, возникающие при таких же операциях над прежним точечным изображением $\bar{g}_{TI}(a)$ как функцией параметра a .

То же самое происходит не только при простом изменении вещественных значений параметра a , но и при придании ему комплексных значений, т. е. при замене $a \rightarrow a + ib$. В этом случае точечные представления более сложных элементарных функций также будут получены по операторным изображениям.

Описанные выше отображения сохраняются и при операции дифференцирования по параметру a . В этом случае для отображений

$$\begin{aligned}g(t; a) &\rightarrow e^{-at} = \\ &= \int_0^{\infty} e^{-at} \cdot e^{-pt} dt = \frac{1}{p+a} = F_g(p; a) \xrightarrow{p=\frac{1}{\lambda}} F_g^*(\lambda(z); a) = \\ &= \frac{\lambda(z)}{1+a\lambda(z)} = W^*(z; a) = \\ &= W_0(a) + 2 \sum_{v=1}^{\infty} W_v(a) z^v \xrightarrow{T_I} \bar{g}_{TI}(a) = \\ &= \text{Colon}[g_{1I}(a), \dots, g_{vI}(a), \dots, g_{NI}(a)],\end{aligned}\quad (19)$$

где

$$\begin{aligned}g_{1I}(a) &= \frac{1}{1+a\lambda_0}; \\ g_{vI}(a) &= \frac{1}{1+a\lambda_0} \cdot \left(\frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0}\right)^{v-1} \quad (v=\overline{1, N}),\end{aligned}\quad (20)$$

имеем

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial}{\partial a}(e^{-at}) &= te^{-at} = -\frac{\partial}{\partial a} F_g(p; a) = \\
 &= \frac{1}{(p+a)^2} \xrightarrow{p=\frac{1}{\lambda}} \frac{\lambda(z)^2}{(1+a\lambda(z))^2} = \\
 &= -\frac{\partial}{\partial a} F_g^*(\lambda(z); a) = -\frac{\partial}{\partial a} W^*(z; a) = \\
 &= -\frac{\partial W_0(a)}{\partial a} - 2 \sum_{v=1}^{\infty} \frac{\partial W_v(a)}{\partial a} z^v \rightarrow \\
 &\xrightarrow{T_I} -\frac{\partial}{\partial a} \bar{g}_{II}(a) = \bar{g}'_{II}(a) = \\
 &= \text{Colon}[g'_{I1}(a), \dots, g'_{v1}(a), \dots, g'_{NI}(a)]. \quad (21)
 \end{aligned}$$

Дифференцируя (20) по параметру a , получим явные представления для координат $g'_{v1}(a)$ ($v = \overline{1, N}$) точно-го изображающего N -вектора $\bar{g}'_{II}(a)$ возникшей функции-оригинала $g'(t; a) = te^{-at}$:

$$\begin{aligned}
 g'_{v1} &= -\frac{\partial g_{v1}(a)}{\partial a} = \\
 &= \frac{\lambda_0(1-a\lambda_0)^{v-2}[(2v-1)-a\lambda_0]}{(1+a\lambda_0)^{v+1}} (v = \overline{1, N}). \quad (22)
 \end{aligned}$$

Это будут приближенные значения отсчетов функции $g'(t; a)$, т. е. значений $T\tau_v^{(N)} \cdot \exp(-aT\tau_v^{(N)})$ в узлах чебышевской N -сетки первого рода, но определенные по ее лапласовому изображению $\frac{1}{(p+a)^2} = -\frac{\partial}{\partial a} F_g(p; a)$.

Отметим, что повторно дифференцируя по параметру a цепочку отображений (21), можно получить точечное векторное представление $\bar{g}''_{II}(a)$ и для функции $t^2 e^{-at}$ по ее лапласовому изображению.

Рассмотрим теперь более общий случай комплексного значения параметра a в отображении (11), а также в равенствах (15) и (17). Заменим параметр a во всех этих соотношениях на комплексную величину $(a + ib)$ ($a \geq 0$).

Для изображения по Лапласу будем иметь

$$\begin{aligned}
 e^{-(a+ib)t} &= e^{-at} \cos bt - ie^{-at} \sin bt = \\
 &= g_c(t) - ig_s(t) \rightarrow \frac{1}{p = (a+ib)} = \\
 &= \frac{1}{(p+a)+ib} = \frac{(p+a)}{(p+a)^2+b^2} - i \frac{b}{(p+a)^2+b^2}, \quad (23)
 \end{aligned}$$

откуда для инверсных изображений окажется, что

$$\begin{aligned}
 e^{-at} \cos bt &= g_c(t) \rightarrow \frac{(p+a)}{(p+a)^2+b^2} = F_c(p) = \\
 &= F_c\left(\frac{1}{\lambda(z)}\right) = F_c^*(\lambda(z)) = \\
 &= \frac{\lambda(z)(1+a\lambda(z))}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)} = \\
 &= \frac{\lambda(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)} + \frac{a\lambda^2(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)}, \quad (24) \\
 e^{-at} \sin bt &= g_s(t) \rightarrow \frac{b}{(p+a)^2+b^2} = \\
 &= F_s(p) = F_s\left(\frac{1}{\lambda(z)}\right) = F_s^*(\lambda(z)) = \\
 &= \frac{b \cdot \lambda^2(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)}. \quad (25)
 \end{aligned}$$

Таким образом, имеем два инверсных лапласовых изображения:

$$\begin{aligned}
 &\frac{\lambda(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)}, \\
 &\frac{\lambda^2(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)}, \quad (26)
 \end{aligned}$$

по которым может быть решена задача об обращении L -преобразований в (24) в форме точечных векторов изображений:

$$\left. \begin{aligned}
 g_c(t) &\rightarrow F_c(p) = F_c^*(\lambda(z)) \xrightarrow{T_I} \bar{g}_{cT} = \\
 &= \text{Colon}[g_{c1}, \dots, g_{cv}, \dots, g_{cN}], \\
 g_s(t) &\rightarrow F_s(p) = F_s^*(\lambda(z)) \xrightarrow{T_I} \bar{g}_{sT} = \\
 &= \text{Colon}[g_{s1}, \dots, g_{sv}, \dots, g_{sN}].
 \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Следует отметить, что инверсное преобразование Лапласа в (24) есть линейная комбинация функций (26). Найдем их представления как функций комплексной переменной z , принимающей значения из единичного круга $|z| \leq 1$. Подставляя в (26)

$$\lambda = \lambda(z) = \lambda_0 \frac{1+z}{1-z}, \quad |z| \leq 1, \quad (28)$$

после преобразований получим

$$\left. \begin{aligned}
 &\frac{\lambda(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)} = \\
 &= \lambda_0(1+z) \cdot \frac{(1+z)}{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2} \cdot W_0^*(z), \\
 &\frac{a\lambda^2(z)}{(1+a\lambda(z))^2+b^2\lambda^2(z)} = \\
 &= \lambda_0(1+z) \cdot \frac{a\lambda_0(1+z)}{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2} \cdot W_0^*(z),
 \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

где

$$W_0^*(z) = \frac{1}{1-2\gamma \cdot (e^{-\beta} z) + (e^{-\beta} z)^2}, \quad (30)$$

а введенные параметры определяются по формулам

$$\gamma = \frac{1-(a^2+b^2)\lambda_0^2}{\sqrt{(1-(a^2+b^2)\lambda_0^2)^2+4(b\lambda_0)^2}}, \quad |\gamma| \leq 1, \quad (31)$$

$$0 < e^{-\beta} = \frac{\sqrt{(1-a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2}}{\sqrt{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2}} \leq 1 \quad (a \geq 0). \quad (32)$$

Таким образом, для инверсных функций $F_c^*(\lambda(z))$ и $F_s^*(\lambda(z))$ из представлений (24) получим:

$$\left. \begin{aligned}
 F_c^*(\lambda(z)) &= \lambda_0(1+z) \frac{[(1-z)+a\lambda_0(1+z)]}{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2} \cdot W_0^*(z) = \\
 &= \lambda_0(1+z) \frac{(1+a\lambda_0)}{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2} \times \\
 &\times \left(1 - \frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0} z\right) W_0^*(z) = \lambda_0(1+z) \cdot W_c^*(z), \\
 F_s^*(\lambda(z)) &= \lambda_0(1+z) \frac{b\lambda_0(1+z)}{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2} \cdot W_0^*(z) = \\
 &= \lambda_0(1+z) \frac{b\lambda_0}{(1+a\lambda_0)^2+(b\lambda_0)^2} \times \\
 &\times (1+z) W_0^*(z) = \lambda_0(1+z) \cdot W_s^*(z),
 \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

А учитывая нильпотентность переменной z с показателем $N(z^k \equiv 0 \forall k \geq N)$, запишем:

$$\left. \begin{aligned} F_c^*(\lambda(z)) &= W_{c0} + 2 \sum_{k=1}^{N-1} W_{ck} z^k = \lambda_0(1+z) \times \\ &\times W_c^*(z) = \lambda_0(1+z) \sum_{v=0}^N g_{c(v+1)} \cdot z^v, \\ F_s^*(\lambda(z)) &= W_{s0} + 2 \sum_{k=1}^{N-1} W_{sk} z^k = \lambda_0(1+z) \times \\ &\times W_s^*(z) = \lambda_0(1+z) \sum_{v=0}^N g_{s(v+1)} \cdot z^v. \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

Приравнивая коэффициенты при одинаковых степенях переменной z в полиномах, расположенных по разным сторонам этих равенств, получим линейные системы, которые в векторно-матричных формах запишутся в виде

$$\left. \begin{aligned} \text{Colon}[W_{c0}, 2W_{c1}, \dots, 2W_{cN}] &= \\ &= \bar{W}_c = \lambda_0(E_N + Z) \bar{g}_{cT}, \\ \text{Colon}[W_{s0}, 2W_{s1}, \dots, 2W_{sN}] &= \\ &= \bar{W}_s = \lambda_0(E_N + Z) \bar{g}_{sT}, \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

где N -векторы $\bar{g}_{cT}$ и $\bar{g}_{sT}$ – искомые точечные изображающие векторы функций-оригиналов в (27).

Используя представление фундаментальной связи (3), найдем явные (полиномиальные) представления для дробно-рациональных функций $W_c^*(z)$ и $W_s^*(z)$ в (34), т. е. коэффициенты $g_{c(v+1)} (v=0, (N-1))$ и $g_{s(v+1)} (v=0, (N-1))$ этих полиномов, которые, как координаты точечных векторов в (27), будут решениями поставленной задачи по обращению операторных преобразований в (23).

Из (34) следует, что

$$\left. \begin{aligned} W_c^*(z) &= \frac{(1+a\lambda_0)}{(1+a\lambda_0)^2 + (b\lambda_0)^2} \left(1 - \frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0} z \right) \times \\ &\times W_0^*(z) = \sum_{v=0}^{N-1} g_{c(v+1)} \cdot z^v, \\ W_s^*(z) &= \frac{b\lambda_0(1+z)}{(1+a\lambda_0)^2 + (b\lambda_0)^2} \times \\ &\times W_0^*(z) = \sum_{v=0}^{N-1} g_{s(v+1)} \cdot z^v, \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

где дробно-рациональная функция $W_0^*(z)$ комплексного переменного $e^{-\beta}z$, принимающего значения из единичного круга $|e^{-\beta}z| = e^{-\beta}|z| \leq 1$, есть производящая функция для полиномов Чебышева второго рода $\{U_v(\gamma)\}$ аргумента $\gamma \in [-1, 1]$ [2], имеющая степенное разложение:

$$\begin{aligned} W_0^*(z) &= \frac{1}{1-2\gamma \cdot (e^{-\beta}z) + (e^{-\beta}z)^2} = \\ &= \sum_{v=0}^{\infty} U_v(\gamma) \cdot (e^{-\beta}z)^v. \end{aligned} \quad (37)$$

Подставляя (37) в (36), после преобразований найдем:

$$\left. \begin{aligned} W_c^*(z) &= \frac{(1+a\lambda_0)}{(1+a\lambda_0)^2 + (b\lambda_0)^2} \times \\ &\times \left[1 + \sum_{v=1}^{\infty} \left(U_v(\gamma)e^{-\beta} - \frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0} \cdot U_{v-1}(\gamma) \right) e^{-(v-1)\beta} \cdot z^v \right], \\ W_s^*(z) &= \frac{b\lambda_0}{(1+a\lambda_0)^2 + (b\lambda_0)^2} \times \\ &\times \left[1 + \sum_{v=1}^{\infty} (U_v(\gamma)e^{-\beta} + U_{v-1}(\gamma)) e^{-(v-1)\beta} \cdot z^v \right], \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

и, следовательно,

$$\begin{aligned} g_{c1} &= \frac{(1+a\lambda_0)}{(1+a\lambda_0)^2 + (b\lambda_0)^2}, \\ g_{c(v+1)} &= g_{c1} \left(U_v(\gamma)e^{-\beta} - \frac{1-a\lambda_0}{1+a\lambda_0} U_{v-1}(\gamma) \right) \times \\ &\times e^{-(v-1)\beta} \quad (v=1, N-1), \\ g_{s1} &= \frac{b\lambda_0}{(1+a\lambda_0)^2 + (b\lambda_0)^2}, \\ g_{s(v+1)} &= g_{s1} (U_v(\gamma)e^{-\beta} + U_{v-1}(\gamma)) \times \\ &\times e^{-(v-1)\beta} \quad (v=1, N-1). \end{aligned} \quad (39)$$

Это координаты N -векторов $\bar{g}_{cT}$ и $\bar{g}_{sT}$ из (27), которые решают поставленную задачу о приближенном обращении преобразований Лапласа в (23), поскольку они являются точечными векторными изображениями их функций-оригиналов $g_c(t)$ и $g_s(t)$, $t \in [0, T]$.

При чисто мнимом значении комплексного параметра, т. е. при $a=0$, возникает задача точечного обращения простейших преобразований Лапласа, временные оригиналы которых являются тригонометрическими функциями $\cos bt$ и $\sin bt$. Их графики имеют вид незатухающих колебаний. Решение этой колебательной задачи может быть получено из общего решения как его частный случай при $a=0$. При этом расчетные формулы существенно упрощаются.

Вернемся к уже рассмотренному случаю комплексного значения параметра a . Введем функцию e^{-pt} , $t \in [0, T]$, предполагая переменным комплексный параметр p , а преобразование Лапласа $F_g(p)$ функции $g(t)$ $M \in [0, T]$:

$$F_g(p) = \int_0^T e^{-pt} g(t) dt = T \int_0^1 e^{-pT\tau} g(T\tau) d\tau, \quad (41)$$

существующим при любых положительных T .

Квадратурное значение этого интеграла, ассоциированное с чебышевской N -сеткой первого рода:

$$\begin{aligned} \tau_v^{(N)} &= \frac{2v-1}{2N} \quad (v=1, N) - \text{имеет представление} \\ F_g(p) &\approx \frac{T}{N} \sum_{v=1}^N e^{-pT\tau_v^{(N)}} g(T\tau_v^{(N)}) = \\ &= 2\lambda_0 \sum_{v=1}^N e^{-\lambda_0 p(2v-1)} \cdot g(\lambda_0(2v-1)). \end{aligned} \quad (42)$$

Как было получено ранее, точечное значение $e^{-pT\tau_v^{(N)}}$ экспоненциальной функции $e^{-pT\tau}$ при любом параметре p и в v -м узле чебышевской N -сетки первого рода имеет вид

$$e^{-pT\tau_v^{(N)}} = e^{-\lambda_0 p(2v-1)} \approx \frac{1}{1+\lambda_0 p} \left(\frac{1-\lambda_0 p}{1+\lambda_0 p} \right)^{v-1} \quad (v = \overline{1, N}). \quad (43)$$

Тогда

$$F_g(p) \approx \frac{2\lambda_0}{1+\lambda_0 p} \cdot \sum_{v=1}^N \left(\frac{1-\lambda_0 p}{1+\lambda_0 p} \right)^{v-1} \cdot g_{vI}, \quad (44)$$

где $g_{vI} = g(T\tau_v^{(N)}) = g(\lambda_0(2v-1))$ ($v = \overline{1, N}$).

Положим

$$\frac{1-\lambda_0 p}{1+\lambda_0 p} = z \Rightarrow \lambda_0 p = \frac{1-z}{1+z}, \quad p = \frac{(1-z)}{\lambda_0(1+z)}. \quad (45)$$

Это преобразование связывает комплексную переменную p с комплексной переменной z , принимающей значения из единичного круга $|z| < 1$. Заменяя в (44) переменную p , согласно (45) получим

$$F_g(p) = F_g \left(\frac{(1-z)}{\lambda_0(1+z)} \right) = F_g^* \left(\frac{\lambda_0(1+z)}{(1-z)} \right) = W^*(z) = \lambda_0(1+z) \sum_{v=1}^N g_{vI} z^{v-1}. \quad (46)$$

Как установлено в [1], функция $W^*(z)$ оказывается аналитической в центральном единичном круге $|z| < 1$ и, следовательно, представлена в нем степенным рядом

$$W^*(z) = W_0 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} W_k z^k$$

с вещественными коэффициентами (5). Если комплексную переменную z снабдить свойством нильпотентности с показателем N ($z^m \equiv 0; \forall m \geq N$), то инверсное преобразование Лапласа $F_g^* \left(\frac{\lambda_0(1+z)}{(1-z)} \right) = W^*(z)$ как функция переменной z окажется полиномом степени $(N-1)$:

$$W^*(z) = W_0 + 2 \sum_{v=1}^{N-1} W_v z^v, \quad (47)$$

а следовательно, равенство в (46) приобретет вид

$$W^*(z) = W_0 + 2 \sum_{v=1}^{N-1} W_v z^v =$$

$$= \lambda_0(1+z) \sum_{v=1}^N g_{vI} z^{v-1} = \lambda_0 g_{1I} + \lambda_0 \sum_{v=1}^{N-1} (g_{vI} + g_{(v+1)I}) z^v,$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} W_0 &= \lambda_0 g_{1I}, \\ 2W_v &= \lambda_0 (g_{vI} + g_{(v+1)I}) \quad (v = \overline{1, (N-1)}), \end{aligned} \right\}$$

или в форме рекуррентного равенства

$$\lambda_0 g_{vI} = 2W_{v-1} - \lambda_0 g_{(v-1)I} \quad (v = \overline{2, N})$$

при начальном условии

$$\lambda_0 g_{1I} = W_0 = F_g^*(\lambda_0) = F_g \left(\frac{1}{\lambda_0} \right).$$

Множество всевозможных полиномов вида (47) комплексной переменной z , принимающей значения из единичного круга $|z| \leq 1$ и обладающей свойством нильпотентности с показателем N , как было указано в [1], образует нормированную алгебру по умножению, которая при взаимно однозначном отображении $z \rightarrow Z(N \times N)[z^v \rightarrow Z^v (0 \leq v \leq (N-1))]$ становится изометрически изоморфной алгебре по умножению соответствующих теплицевых матриц:

$$T_N(\bar{W}^{(N)}; Z) = W_0 E_N + 2 \sum_{v=1}^{N-1} W_v Z^v,$$

а полиномы $W^*(z)$ из (47) оказываются порождающими полиномами этих матриц.

Таким образом, мы имеем матричное равенство

$$W^*(z) \xrightarrow{z \rightarrow Z} W^*(Z) = T_N(\bar{W}^{(N)}; Z) = \lambda_0(E_N + Z)T_N(\bar{g}_{TI}; Z)$$

и, следовательно, равенство элементных N -векторов

$$\bar{W}^{(N)} = \lambda_0(E_N + Z)\bar{g}_{TI}$$

где

$$\left. \begin{aligned} \bar{W}^{(N)} &= \text{Colon}[W_0, 2W_1, \dots, 2W_v, \dots, 2W_{N-1}], \\ \bar{g}_{TI} &= \text{Colon}[g_{1I}, \dots, g_{vI}, \dots, g_{NI}]. \end{aligned} \right\}$$

Таким образом, прежний результат получен иным путем, что по существу подтверждает рассматриваемую в данной статье теорию.

В заключение отметим, что подобными способами могут быть решены задачи о точечном обращении других L -преобразований вида простых рациональных дробей. Однако стоит обратить внимание на общий случай, когда преобразование Лапласа $F_g(p)$ функции-оригинала $g(t)$ имеет вид произвольной правильной рациональной дроби. Тогда процедура обращения L -изображений в форме точечных представлений (точечных моделей) обнаруживает ряд особенностей, которые выделяют задачи такого рода в особый класс. В частности, возникает непосредственная связь задач точечного обращения таких L -преобразований и соответствующих задач Коши для линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами и эквивалентных интегральных уравнений второго рода с разностными ядрами (уравнений Вольтерра). Так же может быть получен метод построения точечных моделей линейных динамических систем.

Библиографические ссылки

- Осипов В. М., Осипов В. В. Моделирование линейных динамических систем методом точечных представлений. М. : МАКС-Пресс, 2005.
- Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. М. : Наука, 1974.

V. V. Osipov

ABOUT CONNECTION OF POINT REPRESENTATIONS OF FUNCTIONS AND THEIR LAPLACE TRANSFORMS

We consider the Laplace transform inversion method by point representations and connection of point representations of the functions – the originals and their images in some special cases. The constructed models can be used for modeling and design of dynamic systems.

Keywords: method of point representations, point modeling.

© Осипов В. В., 2011

УДК 629.78.051:681.3

В. В. Прудков

ПРОЦЕДУРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВЕРИФИКАЦИИ ПОДСИСТЕМ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Описаны процедуры автоматизации программного обеспечения для верификации логики функционирования подсистем блока управления перспективных космических аппаратов. Представлены результаты, достигнутые после внедрения этих процедур.

Ключевые слова: блок управления, центральный процессорный модуль, интерфейсный модуль сопряжения, автономная отработка, автоматизация.

Современные тенденции в области космических услуг и технологий требуют от производителей космических аппаратов (КА) и бортовой аппаратуры сокращения сроков и затрат на разработку, квалификацию, изготовление и испытания бортовой аппаратуры и космических аппаратов, а также повышения надежности и качества изготавливаемых изделий при постоянной минимизации их энергомассовых характеристик. При этом необходимо стремиться к достижению существенной экономии ресурсов: людских, финансовых и материальных – при одновременном сокращении сроков разработки космического аппарата.

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), микроконтроллеров, встроенных вычислительных модулей и т. д., требует специальных средств отладки. Создание РЭА осуществляется при постоянном взаимодействии разработчиков программного обеспечения (ПО) и схем, а гибко организованное оборудование, дающее возможность в любой момент времени быстро перекомпоновать испытательную аппаратуру, позволяет проводить работы по отладке РЭА оптимальным образом.

В настоящее время в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» интенсивность проведения отработочных испытаний РЭА космических аппаратов при наземно-экспериментальной отработке и комплектации штатных изделий исключительно высока. Необходимость увеличивать эффективность отработки РЭА и сокращать ее сроки влечет за собой со-

здание унифицированных и автоматизированных рабочих мест наземно-экспериментальной отработки РЭА, к которой и относятся блоки управления (БУ).

Разрабатываемые на предприятии блоки управления, входящие в состав бортового комплекса управления (БКУ) современных и перспективных космических аппаратов, проектируются по модульному принципу. В состав блока управления входят центральный процессорный модуль (ЦПМ) и интерфейсные модули сопряжения (ИМС), или подсистемы. ЦПМ позволяет реализовать программными средствами все логические функции конкретной аппаратуры. ИМС осуществляют управление системами КА. Информационно-логическая связь ЦПМ и ИМС организуется по последовательному периферийному интерфейсу (ППИ). БУ управляется бортовым вычислительным комплексом (БВК) по мультиплексному каналу обмена (МКО) (ГОСТ Р 52070–2003). ЦПМ по МКО принимает команды управления от БВК, декодирует их и выдает слова данных (СД), содержащие команды управления (КУ), в соответствующие подсистемы БУ (ИМС). Также БВК считывает слова данных от ЦПМ, которые содержат телеметрическую информацию.

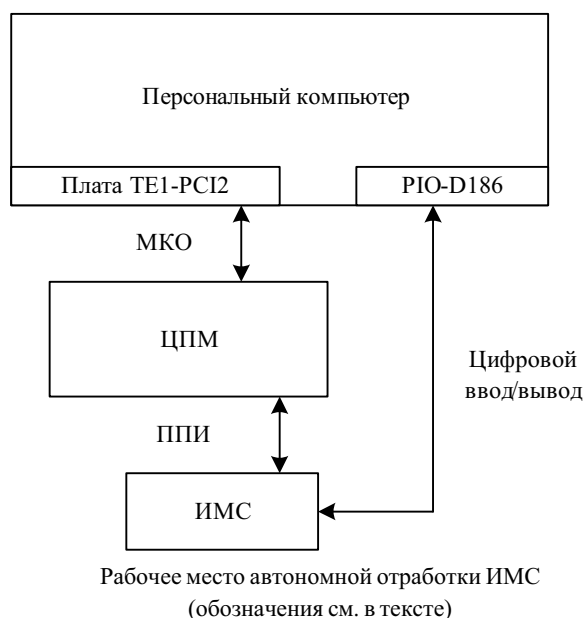
Процесс испытаний РЭА на базе программируемых логических интегральных схем характеризуется определенными особенностями, связанными с разработкой программного продукта: главное внимание сосредоточивается на системотехнических решениях; упрощается схема и конструкция прибора, но при этом усложняется его архитектура; для разработчиков (схемотехников, конструк-

торов, программистов) обеспечиваются особые условия отладки и быстрое изменение ПО испытаний.

Срок активного существования современных космических аппаратов составляет 10–15 лет, и одной из задач по его обеспечению является верификация надежности бортовой РЭА, в частности верификация логики функционирования ИМС, которые представляют собой блоки, состоящие из нескольких плат в виде универсального конструктива. Они выполняют роль связующего звена между бортовым вычислительным комплексом и системами КА.

В ходе верификации логики функционирования ИМС должна быть подтверждена правильность заложенных схемных и технических решений и их соответствие техническому заданию. Данный этап называется лабораторно-отработочными испытаниями ИМС и заключается в выявлении ошибок при их проектировании, изготовлении, а также ошибок в проектах ПЛИС ИМС.

Для реализации этого этапа было создано рабочее место автономной отработки ИМС [1] на базе лабораторного отработочного комплекса [2] (см. рисунок).



Рабочее место автономной отработки ИМС состоит из персонального компьютера (ПК), ЦПМ и подключаемых ИМС. Для информационного обмена между ПК и ЦПМ используется плата TE1-PCI2 производства фирмы «Элкус», поддерживающая протокол МКО, для связи ПК и ИМС – плата PIO-D186 с цифровым вводом/выводом.

Аппаратная часть рабочего места реализует структуру и устанавливает информационные связи для различных его элементов. Программное же обеспечение является основным инструментом, который должен поддерживать единое информационно-логическое пространство между аппаратурой контроля и обрабатываемыми подсистемами, обеспечивать гибкую и полную верификацию всех логических функций этих подсистем, а также проводить их автономную обработку в сжатые сроки и с наименьшими трудозатратами.

Для решения этих задач необходимо создание средств автоматизации процесса отработки ИМС. Их введение в

ПО сведет к минимуму человеческий фактор, повышая тем самым надежность этого процесса, а выполнение большинства функций в автоматическом режиме позволит сократить время и трудозатраты на его проведение.

Разработанное ПО, решающее задачи по автономной отработке ИМС, реализует следующие основные процедуры автоматизации:

- генерацию тестов;
- предварительный анализ теста;
- автоматическое изменение данных теста;
- анализ полученных данных на достоверность;
- перевод полученных значений СД в соответствующую

щие физические величины.

Тест представляет собой последовательный набор операций. Он состоит из операций выдачи КУ в ИМС; чтения выданных КУ от ИМС; выдачи команды на исполнение КУ; чтения СД от ИМС, включающего в себя запрос на подготовку данных с конкретной платы и чтение СД от нее; останов исполнения КУ; чтение СД от ИМС после останова исполнения КУ. Количество операций теста для конкретных ИМС может быть сокращено.

Основным этапом любых испытаний РЭА является создание набора тестов, от полноты которых в конечном счете и будет зависеть степень отработки РЭА. Автоматизированная процедура генерации тестов облегчает работу оператора и сводит к нулю возможные ошибки при ручном вводе.

Эта процедура позволяет создавать тесты для любой подсистемы. Для генерации теста оператору необходимо ввести начальные параметры для конкретной подсистемы, например адреса, количество плат ИМС, количество СД, временные задержки и т. д. При изменении любого параметра программное обеспечение строит в реальном времени временную диаграмму выполнения теста. Оператор еще до непосредственного ввода теста может наглядно увидеть его состав с временными задержками между различными операциями. После нажатия кнопки создания теста программное обеспечение выдает набор операций на основании введенных параметров.

Процедура предварительного анализа теста рассматривает составленную последовательность операций с точки зрения ее полноты и правильности. В случае невыполнения этих условий выдаются соответствующие предупреждения, что исключает возможные ошибки, вносимые оператором при корректировке операций теста. Например, при наличии операции выдачи команды на конкретную плату ИМС должны присутствовать операции чтения с этой платы и операция на прекращение исполнения выданной команды. Если хотя бы одной из указанных операций нет, то появляются отрицательные результаты анализа со списком недостающих операций. Данная процедура автоматизирует поиск таких операций при ручном задании тестов и их редактировании, что в свою очередь снижает вероятность неполноты отработки ИМС.

Выполняемый тест ограничен статическими значениями данных, задаваемых оператором. Для быстрого изменения информации в тестах была создана процедура автоматического изменения данных. Ее суть заключается в том, что оператор вводит параметры изменения данных (маску изменяемых КУ, последовательную или слу-

чайную смену КУ в операции «Выдача КУ» и т. д.) и запускает тест. Программа выполняет тест для определенной КУ, после чего меняет данные в тесте для следующей КУ и исполняет его, и так делается для всех КУ, заданных в маске. Таким образом, эта процедура позволяет запускать заданный тест с автоматическим изменением данных на каждом цикле его выполнения, что сокращает время на создание отдельных тестов для каждой КУ.

При проведении испытаний очень часто приходится сталкиваться с большим объемом выходной информации, которую необходимо анализировать. Для человека подобный анализ связан с долгой и рутинной работой, в процессе которой могут возникать ошибки. Процедура анализа полученных данных на основе изучения протокола обмена выявляет ошибки в функционировании ИМС, а затем отображает оператору подробную информацию об этих ошибках. Такими результатами могут быть отсутствие соответствующего бита в СД по выданной команде; появление дополнительных битов в СД по команде, по которой они не должны появляться; отсутствие различных признаков подсистем в СД и т. д.

Разработчики ИМС закладывают в свои приборы СД, содержащие коды значений различных параметров, таких как температура, напряжение, сопротивление и т. д. В ходе автономной отработки ИМС оператору необходимо переводить получаемые коды в соответствующие физические величины для дальнейшего анализа этих данных. Процедура автоматического перевода является настраиваемой в зависимости от обрабатываемого ИМС. В качестве настроек могут быть указаны цена младшего разряда для кода, различные коэффициенты формул пересчета и т. д. Эта процедура позволяет сократить время, затрачиваемое оператором на перевод кодов значений СД, считываемых от ИМС.

Таким образом, разработанное ПО полностью решает поставленные задачи автономной отработки ИМС и позволяет:

- автоматизировать процесс автономной отработки ИМС до 90 %, оставляя оператору только выполнение и анализ специфических проверок;
- сократить время, затрачиваемое на отработку конкретного ИМС, с нескольких недель до 1–2 рабочих дней;
- проводить одновременную отработку одного рабочего места, в состав которого могут входить до восьми

ИМС, соединенных между собой межблочными разъемами и подключенных к ЦПМ;

- проверять работоспособность ИМС при возникновении нештатных ситуаций путем их моделирования;
- автономно обрабатывать каждый комплект ИМС (основной/резервный), подключаемый к каждому комплекту ЦПМ (основному/резервному);
- обрабатывать БУ в сборе с использованием в качестве соединения ИМС штатных кабелей;
- использовать рабочее место автономной отработки ИМС на любом этапе испытаний РЭА благодаря его гибкости и универсальности.

С помощью данного программного обеспечения проведена автономная отработка ИМС блоков управления космических аппаратов «Муссон», «Глонасс-К», «Амос-5», «Луч-5». В ходе испытаний была подтверждена правильность построения программного обеспечения, а также подхода, связанного с созданием автоматизированных процедур. Таким образом, разработанное ПО доказало свою надежность, универсальность и простоту, благодаря чему оно будет использоваться для отработки ИМС блоков управления перспективных КА, а процедуры автоматизации могут применяться в ПО отработки РЭА со встроенным вычислителем, имеющей мультиплексный канал обмена.

Библиографические ссылки

1. Прудков В. В. Рабочее место автономной отработки интерфейсных модулей сопряжения блока управления перспективных КА // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : материалы VII Междунар. заоч. науч. конф. / Озер. техн. ин-т Моск. инж.-физ. ин-та. Курск, 2010. С. 150–152.
2. Пичкалев А. В. Испытания радиоэлектронной аппаратуры на лабораторном отработочном комплексе // Решетневские чтения : материалы XII Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 158–159.
3. Прудков В. В. Особенности построения программного обеспечения автономной отработки подсистем блока управления перспективных КА // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 531–532.

V. V. Prudkov

PROCEDURES OF AUTOMATION OF PROCESS OF VERIFICATION OF SUBSYSTEMS BLOCK OF MANAGEMENT OF SPACE VEHICLES

Procedures of automation of the software for verification of logic of functioning of subsystems of the block of management perspective space vehicles are described. Results reached by introduction of these procedures are described.

Keywords: management block, central-processor module, interfacing of the management block, independent working off, automation.

© Прудков В. В., 2011

ИНВАРИАНТНО-ГРУППОВОЙ ПОДХОД В ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Впервые предложен и разработан метод топологического отображения плана эксперимента из хорошо обусловленного факторного пространства в плохо обусловленное, имеющее произвольную форму с определенными условиями ограничения. На основе понятий теории групп и инвариантности показано сохранение статистических (информационных) свойств плана эксперимента в факторном пространстве произвольной формы в собственной кодированной системе координат.

Ключевые слова: регрессионный анализ, некорректно поставленные задачи, устойчивое оценивание, планирование эксперимента, топологическое отображение.

Получение многофакторных статистических моделей с использованием регрессионного анализа в общем случае связано с решением некорректно поставленных задач. Для того чтобы построить статистические модели с наилучшими критериями качества, необходимо применение методов теории планирования эксперимента [1; 2].

В основу классической концепции теории планирования эксперимента положена декартова ортогональная система координат и форма факторного пространства в виде многомерного прямоугольного параллелепипеда. В его вершинах сочетаются минимальные $X_{\min}$ и максимальные $X_{\max}$ уровни варьирования факторов X_i при их задании на отрезках $X_{\min} \leq X_i \leq X_{\max}$. Однако в сложных технических и технологических системах такие сочетания не всегда возможны. Реальные формы факторного пространства нередко не соответствуют стандартным, например кубу, сфере или симплексу, при этом различные факторы X_i, X_j ($1 \leq i < j \leq k$) будут мультиколлинеарны (сопряжены) в многофакторной статистической модели как близкие к линейной зависимости [3]. В этом случае задача становится некорректно поставленной, а основным методом ее решения будет регуляризация [4–6].

Многие исследователи обращают внимание на проблему мультиколлинеарности факторов (эффектов) в регрессионном анализе.

Так, профессор Дж. Райс приходит к следующему выводу: «Если задача плохо обусловлена, то никакие усилия, потраченные на организацию изоциренных вычислений, не могут дать правильных ответов, исключая случайности» [7].

По мнению Э. Фёрстера и Б. Ренца, с возрастанием коррелированности факторов вычисленные коэффициенты уравнения регрессии теряют прикладной смысл в попытке их интерпретации, так как их среднеквадратичные ошибки существенно возрастают, а сами коэффициенты становятся очень чувствительными к выборочным наблюдениям, и тогда даже незначительное изменение исходных данных «может привести к очень сильным сдвигам в значениях оценок» [8].

Если решение прикладных задач отягощено исходной мультиколлинеарностью факторов, то использование известных методов планирования эксперимента, дающих наилучшие критерии качества определяемых моделей, невозможно. Необходима разработка метода и алгоритмов устойчивого оценивания коэффициентов статистических моделей в условиях мультиколлинеарности факторов.

В данной статье впервые предложены и исследованы методы получения устойчивых структур моделей и устойчивых коэффициентов при исходных некорректных условиях, которые используют топологическое отображение (гомеоморфизм) хорошо обусловленного факторного пространства – прообраза – в плохо обусловленное факторное пространство – образ [9].

Разработаны следующие методы отображения прообраза в образ [10]:

- получения функций отображения прообраза в образ с линейными (рис. 1) и криволинейными (рис. 2, 3) ограничениями факторного пространства в образе. Отображение проводится с использованием алгоритмов RASTA4, RASTA5.1 для линейного ограничения образа [9] и алгоритма RASTA4K для криволинейного ограничения [9];
- установления собственной кодированной системы координат в области образа (рис. 4, 5), для чего применяется алгоритм RASTA10 [9].

На рис. 1...3 приведены коэффициенты парной корреляции r_{ij} для натуральных значений факторов X_{i0} в области образа и для собственной кодированной системы координат x_{i0} образа, а также для факторов прообраза в натуральной $X_{i\text{пр}}$ и собственной кодированной $x_{i\text{пр}}$ системах координат; на рис. 4 натуральная $\tilde{x}_{i\text{пр}}$ и кодированная $x_{i\text{пр}}$ системы координат эквивалентны друг другу; на рис. 5 $\tilde{x}_{i0}$ является натуральной системой координат образа, а кодированная система координат показана линиями внутри фигуры образа.

Области образа и прообраза факторного пространства с матрицами натуральных и кодированных значений факторов для отображения области прообраза (фигуры $\Phi_{\text{пр}}$) в область образа (фигуру Φ_0) (см. рис. 1) приведены в таблице. Функции отображения прообраза $f_{\text{отоб}}$ в образ факторного пространства следующие:

$$\begin{cases} X_{10} = 5,2 + 1,9x_{1\text{пр}} - 2,6x_{2\text{пр}} - 1,3x_{1\text{пр}}x_{2\text{пр}}, \\ X_{20} = 5,35 + 1,05x_{1\text{пр}} + 2,45x_{2\text{пр}} - 0,85x_{1\text{пр}}x_{2\text{пр}}. \end{cases} \quad (1)$$

Однозначность обратного отображения $f_{\text{отоб}}^{-1}$ для функций $f_{\text{отоб}}$ была установлена с использованием якобиана отображения. В области прообраза якобиан отличен от нуля и, следовательно, обратное отображение является однозначным. Для этого отображения используются алгоритмы RASTA4 и RASTA5.1.

Представив область образа факторного пространства в кодированных значениях факторов (см. таблицу), мож-

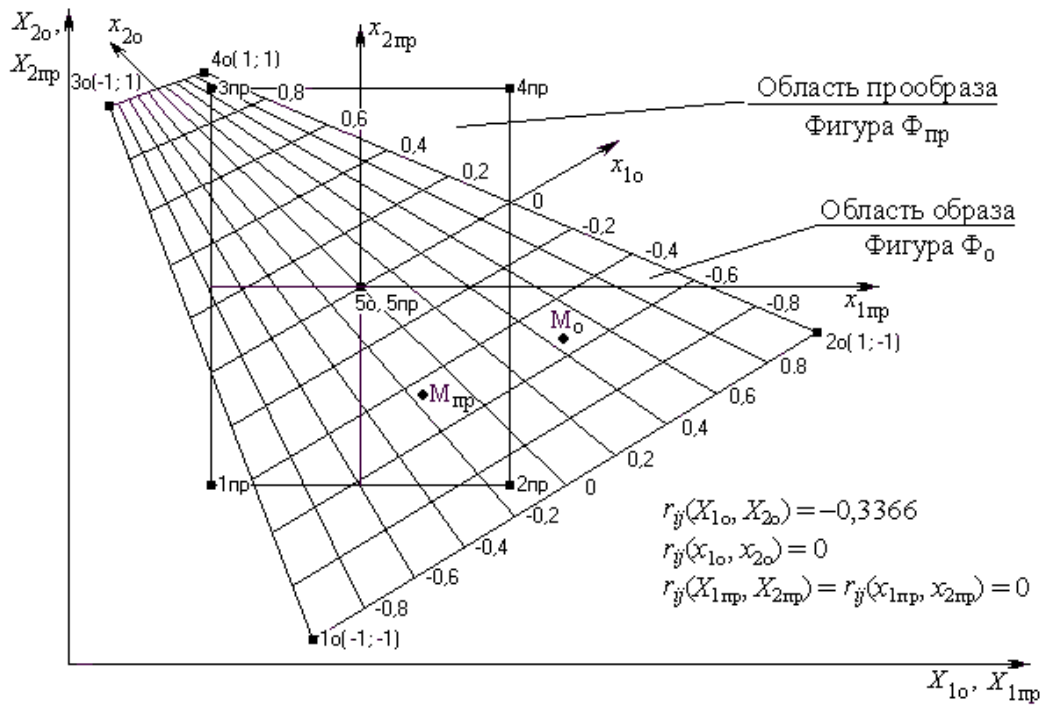


Рис. 1. Системы натуральных и собственных кодированных координат областей образа и прообраза при линейном ограничении образа ($k = 2$)

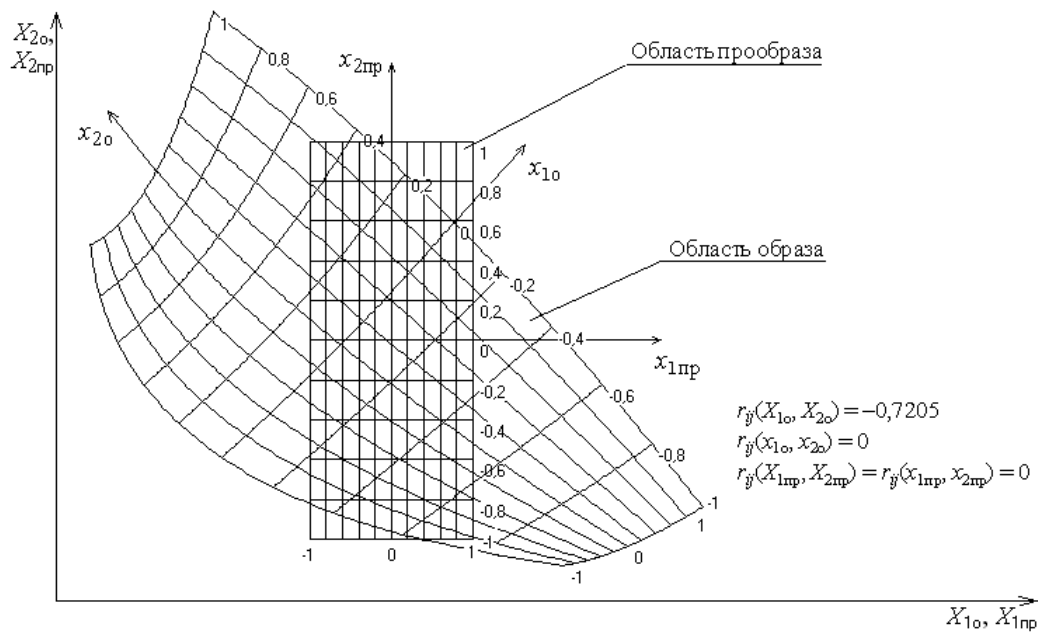


Рис. 2. Системы натуральных и собственных кодированных координат областей образа и прообраза при криволинейном ограничении образа ($k = 2$)

Рабочие матрицы и планы экспериментов областей образа и прообраза факторного пространства

Области факторного пространства									
прообраза					образа				
Номер точки	в натуральных значениях факторов		в кодированных значениях факторов		Номер точки	в натуральных значениях факторов		в кодированных значениях факторов	
	$X_{1пр}$	$X_{2пр}$	$x_{1пр}$	$x_{2пр}$		$X_{1о}$	$X_{2о}$	$x_{1о}$	$x_{2о}$
1 _{пр}	3,3	2,9	−1	−1	1 _о	4,6	1,0	−1	−1
2 _{пр}	7,1	2,9	1	−1	2 _о	11,0	4,8	1	−1
3 _{пр}	3,3	7,8	−1	1	3 _о	2,0	7,6	−1	1
4 _{пр}	7,1	7,8	1	1	4 _о	3,2	8,0	1	1
5 _{пр}	5,2	5,35	0	0	5 _о	5,2	5,35	0	0

но получить в численном виде функции отображения, связывающие образ с прообразом факторного пространства в натуральных значениях факторов $X_{\text{пр}}$:

$$\begin{cases} X_{1\text{пр}} = 5,2 + 1,9x_{1o}, \\ X_{2\text{пр}} = 5,35 + 2,45x_{2o}. \end{cases} \quad (2)$$

Функции отображения для прообраза факторного пространства в кодированных значениях факторов в численном виде для точки M_u будут следующими:

$$\begin{cases} x_{1\text{пр}} = x_{1uo}, \\ x_{2\text{пр}} = x_{2uo}. \end{cases} \quad (3)$$

Как в прямом (1), так и в обратном (2), (3) отображениях наблюдается взаимно однозначное соответствие между отображаемыми топологическими пространствами прообраза и образа. Кроме того, в функциях отображения (1)...(3) наглядно представлено взаимно однозначное соответствие между прообразом и образом и наоборот.

Ограничительные линии $1_o, 2_o, 3_o, 4_o, 1_{\text{пр}}, 2_{\text{пр}}, 3_{\text{пр}}, 4_{\text{пр}}$ в области прообраза факторного пространства.

В основу изучения общих свойств геометрических преобразований в виде топологического отображения прообраза факторного пространства в образ независимо от вида ограничения факторного пространства и метода отображения следует положить понятия группы преобразований и их инвариантов.

Группа преобразований – это геометрическое преобразование фигур, удовлетворяющее следующим условиям:

– каждая фигура Φ_o равна сама себе (свойство рефлексивности). Фигура Φ_o представляется как фигура Φ_o или $\Phi_{\text{пр}}$, и каждая из них равна сама себе;

– если фигура $\Phi_{\text{пр}}$ равна фигуре Φ_o (преобразование Π), то Φ_o равна $\Phi_{\text{пр}}$ (преобразование Π^{-1}) (свойство симметричности). Фигура $\Phi_{\text{пр}}$ получается из заданной фигуры Φ_o по алгоритмам RASTA4 или RASTA4K. Посредством системы функций отображения (1) фигура $\Phi_{\text{пр}}$ отображается в фигуру Φ_o . Используя собственную кодированную систему координат для образа (фигуры Φ_o), которую можно построить путем отображения собственной кодированной системы координат прообраза (фигуры $\Phi_{\text{пр}}$) в образ (аналогично таблице), по выражению (2) можно отобразить Φ_o в $\Phi_{\text{пр}}$;

– если фигура $\Phi_{\text{пр}}$ равна фигуре $\Phi'_{\text{пр}}$ (преобразование Π_1), а $\Phi'_{\text{пр}}$ равна Φ_o (преобразование Π_2), то и $\Phi_{\text{пр}}$ равна Φ_o (свойство транзитивности). Преобразование $\Pi_2\Pi_1$ состоит в том, что сначала производится преобразование Π_1 , а затем Π_2 .

Если эти условия выполняются, то геометрические преобразования представляют группу преобразований [11]. Ее геометрические свойства будут заключаться в сохраняющихся при преобразованиях свойствах фигур образа Φ_o и прообраза $\Phi_{\text{пр}}$.

Другой вариант областей образа и прообраза факторного пространства с линейным ограничением образа представлен ниже (рис. 6).

Ортогональность факторов друг к другу в прообразе при указанных преобразованиях сохраняется и в нестандартном факторном пространстве образа в собственной кодированной системе координат (см. рис. 1). Это свой-

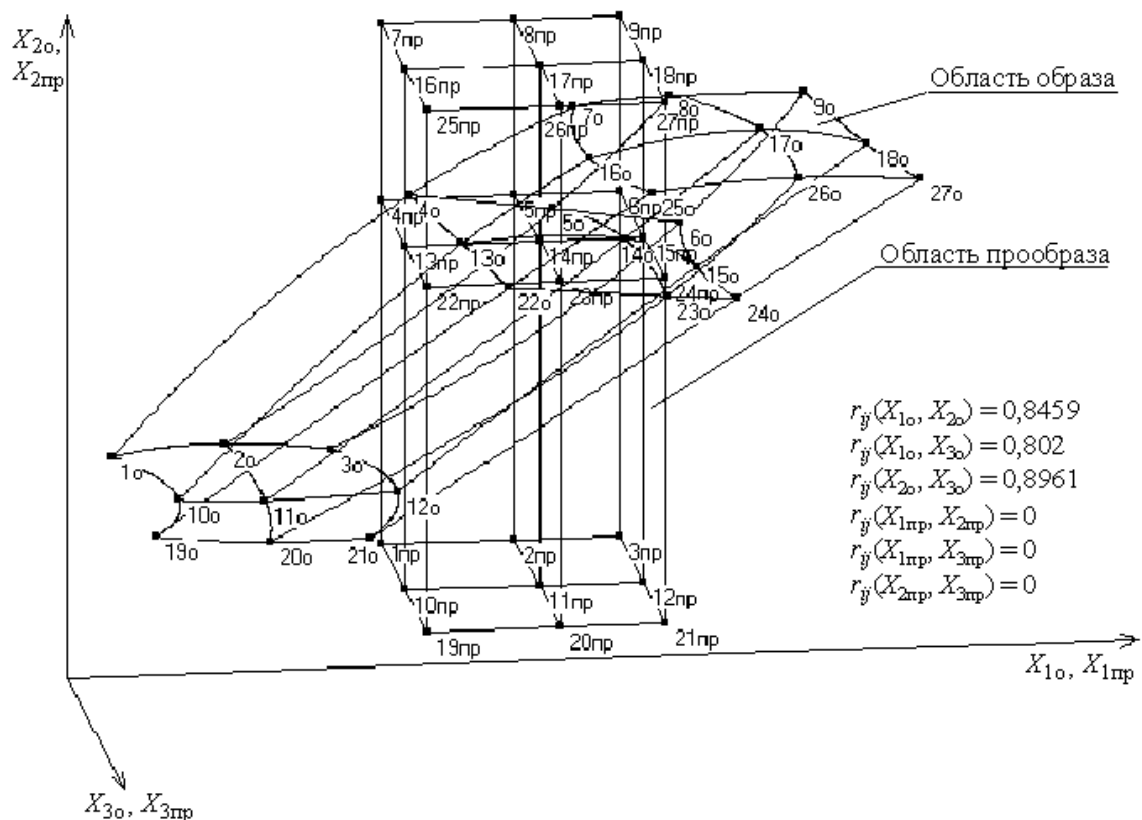


Рис. 3. Области образа и прообраза при криволинейном ограничении образа ($k = 3$)

ство ортогональности является инвариантным свойством по отношению к используемому преобразованию. Рассматриваемые преобразования фигур $\Phi_{\text{пр}}$ и Φ_o относятся к теории непрерывных групп преобразований.

Введем понятие инвариантов в исследование отображения прообраза в образ.

Инварианты – это числа или алгебраические выражения, связанные с определенным математическим объектом и остающиеся неизменными при преобразованиях этого объекта или системы отсчета, в которой описывается объект. Характеристика геометрической фигуры и ее свойств осуществляется с помощью чисел и системы координат (или вспомогательной системы отсчета). Величины, описывающие определенную геометрическую фигуру, характеризуют и их отношение к системе координат. Свойства фигуры не должны зависеть от системы координат, т. е. должно выполняться равенство

$$f(x_{1\text{пр}}, \dots, x_{k\text{пр}}) = f(x_{1o}, \dots, x_{ko}),$$

где $x_{1\text{пр}}, \dots, x_{k\text{пр}}$ – координаты точек плана эксперимента в собственной кодированной системе координат для фигуры $\Phi_{\text{пр}}$ области прообраза; $x_{1o}, \dots, x_{ko}$ – координаты точек плана эксперимента в собственной кодированной системе координат для фигуры Φ_o области образа, которая является отображением фигуры $\Phi_{\text{пр}}$ области прообраза; f – определенная функция от значений $x_{1(\cdot)}, \dots, x_{k(\cdot)}$ координат точек плана эксперимента в собственной кодированной системе координат для фигур $\Phi_{(\cdot)}$.

Изучаемым свойством геометрии факторного пространства в данном исследовании является ортогональность факторов друг к другу. В этом случае функциями $f(\cdot)$ от координат точек фигур $\Phi_{\text{пр}}$ и Φ_o являются парные коэффициенты корреляции $r_{ij}(x_{i\text{пр}}, x_{j\text{пр}})$ и $r_{ij}(x_{io}, x_{jo})$, $1 \leq i < j \leq k$. В различных формах факторного пространства – прообраза и образа – при использовании в прообразе регулярного плана эксперимента коэффициенты парной корреляции факторов $r_{ij}(x_{i(\cdot)}, x_{j(\cdot)})$ равняются нулю и в прообразе, и в образе. Рассматриваемая геометрия факторных пространств тесно связана с теорией инвариантов. По Ф. Клейну, каждая геометрия является

теорией инвариантов соответствующей группы преобразований [12].

Разработка теории непрерывных групп преобразований геометрических фигур прообраза $\Phi_{\text{пр}}$ и образа Φ_o , представляющих собой геометрическое выражение плана эксперимента и сохраняющихся при этом их статистических характеристик – инвариантов – в собственных кодированных системах координат, приводит к созданию инвариантно-группового подхода в теории планирования эксперимента. Этот подход позволяет получать многофакторные статистические модели с наилучшими возможными характеристиками для нестандартных областей факторного пространства в именованной системе координат в условиях исходной мультиколлинеарности факторов в образе.

Таким образом, впервые разработана и исследована концепция инвариантно-группового подхода в теории планирования эксперимента. Данный подход ориентирован на использование для произвольных форм факторного пространства планов экспериментов, разработанных для областей в виде прямоугольных параллелепипедов.

Статистические свойства планов экспериментов для стандартных форм факторного пространства прообраза (фигуры $\Phi_{\text{пр}}$): ортогональность факторов и их главных эффектов друг к другу в группе преобразований в собственных кодированных системах координат прообраза и образа – сохраняются и в нестандартном факторном пространстве образа (фигуры Φ_o).

Дальнейшее развитие инвариантно-группового подхода в теории планирования эксперимента будет связано с понятием структуры плана эксперимента и сохранением его статистических (информационных) свойств при отображениях прообраза в образ факторных пространств (URL: <http://www.n-t.org/sp/lesmi/>).

Библиографические ссылки

1. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971.

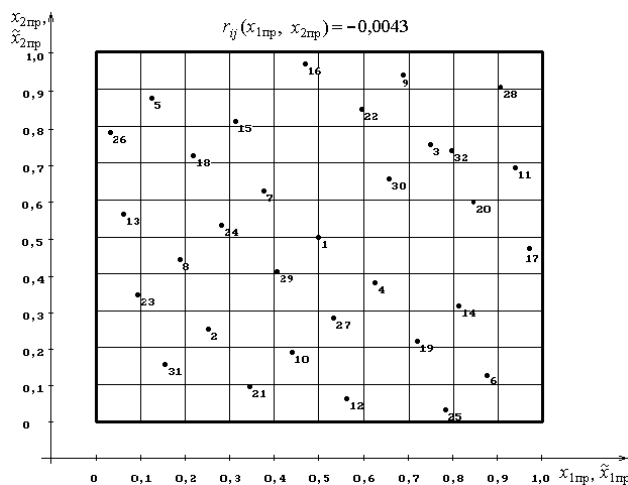


Рис. 4. Расположение в квадрате точек ЛП_т равномерно распределенных последовательностей $x_{1\text{пр}} = \xi_5, x_{2\text{пр}} = \xi_7$ прообраза факторного пространства

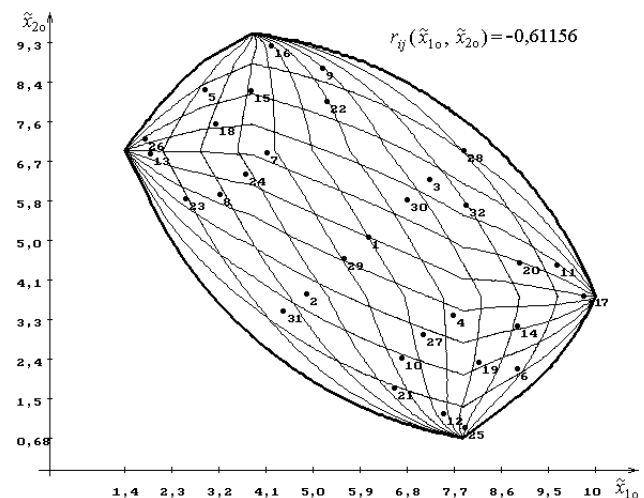


Рис. 5. Произвольная область образа факторного пространства с криволинейными ограничительными линиями и натуральной и собственной системами координат

2. Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Металлургия, 1981.

3. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Машиностроение, 1988.

4. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. 3-е изд. М. : Наука, 1986.

5. Лаврентьев М. М., Романов В. Г., Шишатский С. П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М. : Наука, 1980.

6. Жуковский Е. Л. Статистическая регуляризация решений обратных некорректно поставленных задач обработки и интерпретации результатов эксперимента // Методы математического моделирования, автоматизация обработки наблюдений и их применения : сборник / под ред. А. Н. Тихонова, А. А. Самарского. М., 1986. С. 47–72.

7. Райс Дж. Матричные вычисления и математическое обеспечение / пер. с англ. О. Б. Арушаняна ; под ред. В. В. Воеводина. М. : Мир, 1984.

8. Фёрстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов / пер. с нем. и предисл. В. М. Ивановой. М. : Финансы и статистика, 1983.

9. Радченко С. Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей : монография. Киев : Санспарель, 2005.

10. Радченко С. Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей // Матеріали ІХ-ої Міжнар. наук. конф. ім. акад. М. Кравчука. Київ, 2002. С. 451–452.

11. Радченко С. Г. Теория групп преобразований в устойчивом статистическом моделировании // Системний аналіз та інформаційні технології : матеріали VII Міжнар. наук.-техн. конф. / НТУУ «КПІ». Київ, 2005. С. 150.

12. Кованцов М. И. Проективная геометрия. 2-е вид., перераб. и доп. Київ : Вища шк., 1985.

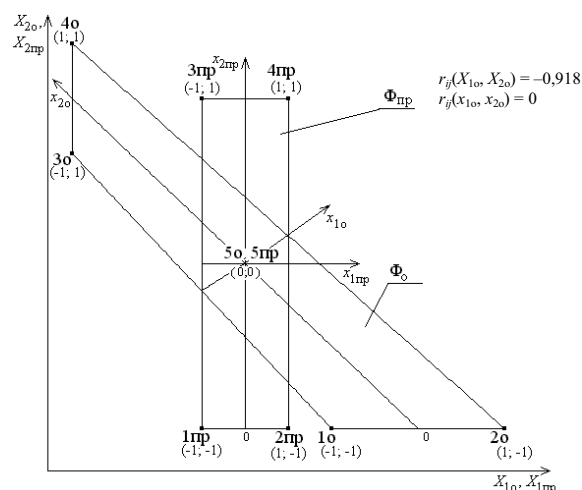


Рис. 6. Области образа и прообраза факторного пространства при линейных ограничениях образа

S. G. Radchenko

INVARIANT GROUP APPROACH IN THE EXPERIMENT DESIGN THEORY

The article for the first time presents method, developed for topological mapping of the experiment design from a well-conditioned factor space into the ill-conditioned one being of arbitrary shape with certain conditions of its restriction. Basing on such notions as the group theory and invariance the author has shown the preservation of statistical properties of the experiment design in the factor space of arbitrary form in its own proper coded coordinate system.

Keywords: regression analysis, ill-posed problems, stable estimation, experiment design, topologic mapping.

© Радченко С. Г., 2011

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИМИТАТОРОВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ С ДВУХКАСКАДНЫМ РЕГУЛИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ*

Предложен способ повышения качества имитаторов солнечных батарей с каскадным включением импульсного и непрерывного регулирующих элементов последовательного и параллельного типов.

Ключевые слова: солнечная батарея, имитатор, динамические свойства, нелинейное корректирующее устройство, моделирование.

При проектировании и испытаниях бортового электрооборудования космических аппаратов (КА) с целью проверки на работоспособность и устойчивость к воздействию по шинам питания электромагнитных помех допустимой амплитуды (ГОСТ Р 51317.4.11–2007) применяются устройства, которые с заданной погрешностью воспроизводят требуемые статические и динамические характеристики реальной солнечной батареи. Эти устройства называются имитаторами солнечных батарей (ИБС). Результаты и показатели наземных испытаний систем электропитания во многом определяются точностью воспроизведения ИБС статических (вольтамперная характеристика) и динамических (полное внутреннее сопротивление) характеристик реальной СБ. Поэтому работа, посвященная повышению качества имитаторов СБ, является актуальной.

Наиболее перспективными на сегодняшний день имитаторами СБ являются имитаторы [1], содержащие в своей структуре каскадно соединенные непрерывный и импульсный регулирующие элементы (рис. 1).

Непрерывный регулирующий элемент (НРЭ) в имитаторе СБ может быть включен с нагрузкой последовательно (рис. 1, а) или параллельно (рис. 1, б). НРЭ обеспечивает воспроизведение имитатором требуемых характеристик реальной СБ (вольтамперную характеристику, полное внутреннее сопротивление), а импульсный регулятор (ИРЭ) ограничивает мощность, рассеиваемую НРЭ за счет стабилизации напряжения на НРЭ в последовательной схеме и за счет стабилизации тока через НРЭ в параллельной схеме.

Имитатор, выполненный по такой топологии, объединяет достоинства имитаторов, содержащих только один регулирующий элемент. В случае НРЭ отмечается высокое быстродействие и точность воспроизведения динамических характеристик от имитатора, в случае ИРЭ – высокие КПД и массогабаритные характеристики.

Однако у имитаторов с каскадно соединенными НРЭ и ИРЭ имеется недостаток, проявляющийся при широкодиапазонной коммутации нагрузки, связанный с низким быстродействием импульсного регулятора.

Для последовательной схемы этот эффект наиболее ярко проявляется на ветви тока ВАХ СБ (от режима короткого замыкания до режима максимальной мощности) (рис. 2).

При изменении нагрузки от R_{H1} до R_{H2} напряжение на нагрузке, в соответствии с динамикой СБ, должно скачком

измениться от U_{H1} до U_{H2} , но так как ИРЭ имеет быстродействие значительно ниже, чем НРЭ, то напряжение на нагрузке скачком изменяется только до напряжения ИРЭ $U_{ИРЭ} = U_{H1} + U_{ст}$, а дальнейшее увеличение напряжения идет со скоростью, определяемой динамикой ИРЭ, что не соответствует переходному процессу в реальной СБ.

В имитаторах параллельного типа стабилизируется не напряжение на НРЭ, а ток, протекающий через него. В связи с этим в параллельной схеме влияние быстродействия ИРЭ ощутимо при движении рабочей точки по ветви напряжения (от режима холостого хода до режима максимальной мощности) (рис. 3).

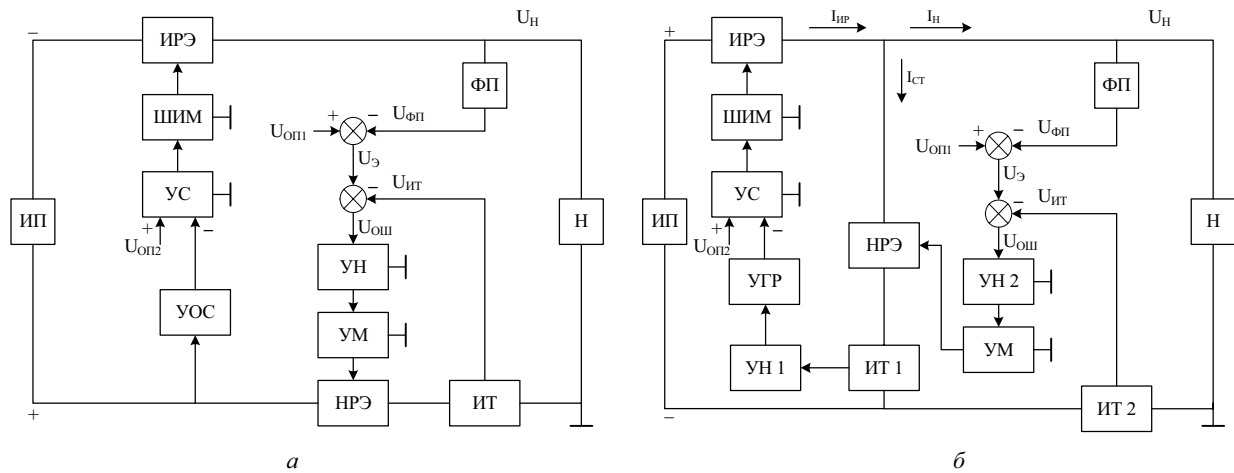
При коммутации нагрузки от R_{H1} до R_{H2} происходит изменение тока нагрузки от I_{H1} до I_{H2} , но из-за низкого быстродействия ИРЭ скачком ток изменяется только до тока $I_{ИРЭ} = I_{H1} + I_{ст}$, а дальнейшее изменение происходит со скоростью импульсного регулятора.

Для решения данной проблемы необходимо, чтобы при широкодиапазонной коммутации нагрузки НРЭ оставался в активном режиме. Этого можно добиться увеличением мощности рассеивания НРЭ. Но при этом необходимо увеличивать число параллельно включенных транзисторов, площадь радиаторов, длину соединительных проводов и т. п., что в конечном счете ведёт к ухудшению динамических характеристик НРЭ и увеличению его габаритов и массы.

В работе рассматривается метод повышения качества имитаторов СБ путём введения нелинейного корректирующего устройства (НКУ) в контур обратной связи импульсного регулирующего элемента. НКУ относится к динамическим КУ, так как эффект от его включения проявляется только во время переходных процессов, а в установившемся режиме (сопротивление нагрузки постоянно) оно не оказывает влияния на систему.

НКУ, введенное в контур обратной связи для импульсного регулятора, должно обеспечивать уменьшение среднего напряжения обратной связи ИРЭ при возникновении периодической коммутации нагрузки, что в свою очередь приведет к увеличению уровня стабилизируемого напряжения на НРЭ в имитаторах последовательного типа и тока через НРЭ в имитаторах параллельного типа, тем самым позволяя НРЭ оставаться в активном режиме при широкодиапазонной коммутации нагрузки.

Такое устройство может быть выполнено в виде RC-цепи, в которой сопротивление R зашунтировано диодом VD [2] (рис. 4).



ИП – источник питания, ИРЭ – импульсный регулирующий элемент, НРЭ – непрерывный регулирующий элемент,
 Н – нагрузка, ИТ – измеритель тока, УМ – усилитель мощности, УН – усилитель напряжения,
 УОС – устройство обратной связи, УС – усилитель-сумматор, УГР – устройство гальванической развязки,
 ФП – функциональный преобразователь, ШИМ – широтно-импульсный модулятор

Рис. 1. Структурные схемы ИБС с двумя регулируемыми элементами: а – последовательного типа; б – параллельного типа

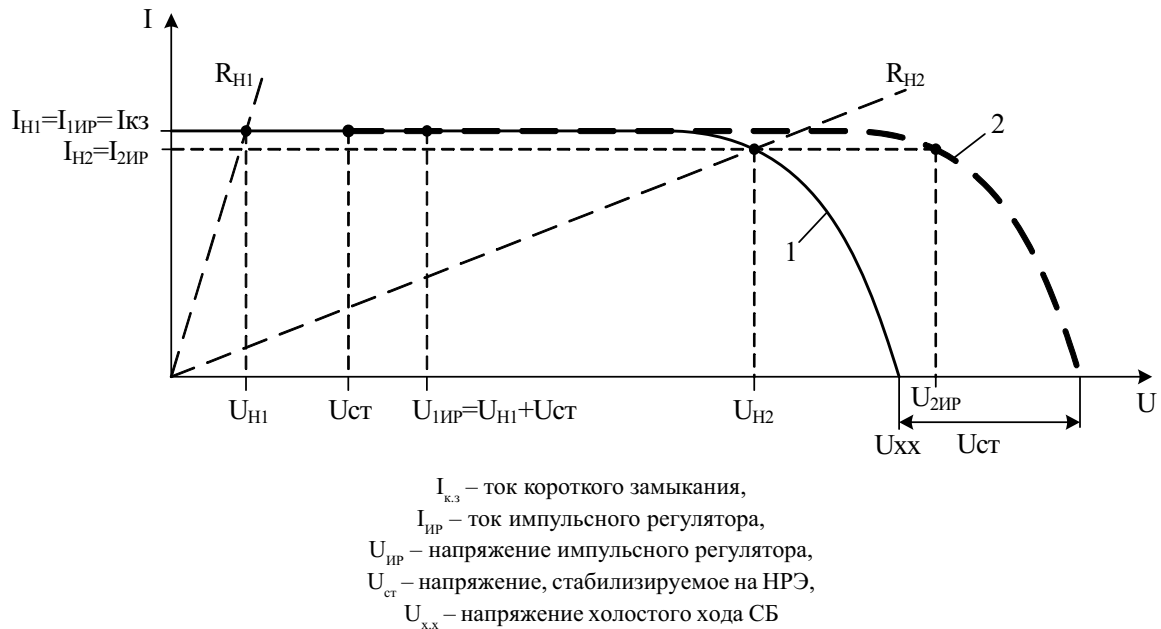


Рис. 2. Вольтамперные характеристики для последовательной схемы:
 1 – ВАХ имитатора СБ; 2 – ВАХ импульсного регулятора

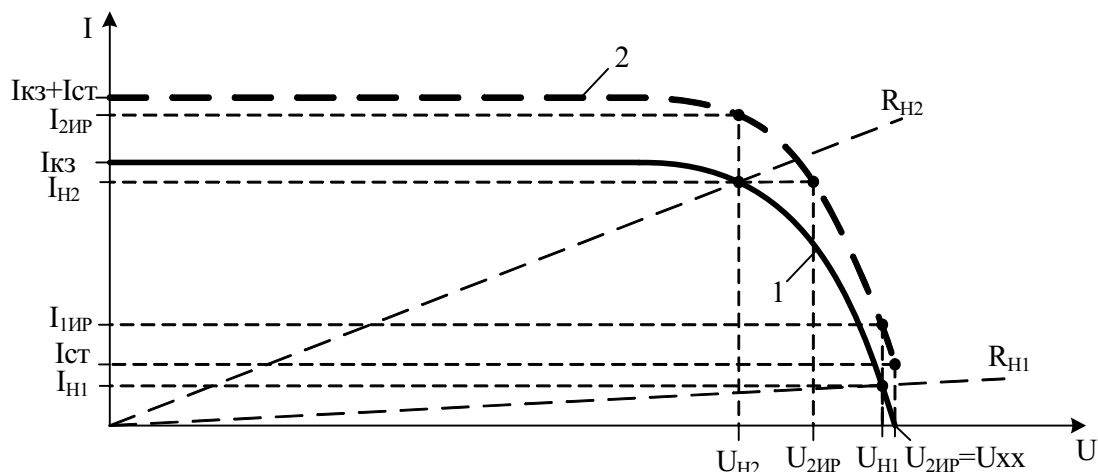


Рис. 3. Вольтамперные характеристики для параллельной схемы: 1 – ВАХ имитатора СБ; 2 – ВАХ импульсного регулятора

В установившемся режиме конденсатор C заряжен через резистор R практически до напряжения на непрерывном регулирующем элементе $U_{НРЭ}$. Напряжение на конденсаторе C служит напряжением обратной связи для импульсного регулирующего элемента. При ступенчатом увеличении тока нагрузки I_H напряжение на непрерывном РЭ возрастает и конденсатор заряжается в соответствии с выражением

$$U_{OC} = U_{НРЭ} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_3}}),$$

где $T_3 = RC$ – постоянная времени заряда конденсатора, определяющая скорость протекания процесса заряда.

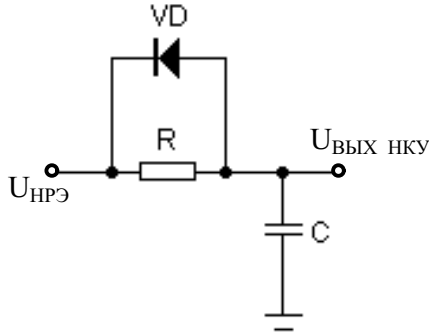


Рис. 4. Электрическая схема нелинейного корректирующего устройства

Это увеличение напряжения на конденсаторе импульсный РЭ стремится уменьшить до величины $U_{оп2}$, тем самым уменьшая напряжение на непрерывном регулирующем элементе $U_{НРЭ}$.

При сбросе нагрузки напряжение на непрерывном регулирующем элементе резко уменьшается и конденсатор разряжается через диод VD до величины напряжения $U_{НРЭ}$. Постоянная времени разряда

$$T_p = R_d C,$$

где R_d – дифференциальное сопротивление открытого диода.

Поскольку выполняется условие $R_d \ll R$, то и постоянная времени разряда T_p много меньше постоянной заряда конденсатора T_3 . Вследствие этого среднее напряжение на конденсаторе уменьшается при периодической коммутации нагрузки, что приводит к увеличению среднего напряжения на НРЭ и увеличению диапазона коммутации нагрузки, при котором НРЭ остается в активном режиме.

Таким образом, введение НКУ улучшает динамические свойства ИБС, следовательно, повышается качество имитаторов.

Для проведения вычислительного эксперимента в пакете MicroCAP 7.1 были разработаны модели имитаторов СБ [3] последовательного (рис. 5) и параллельного (рис. 6) типов.

В модели последовательного типа используются PSpice модели элементов: операционные усилители AD8066 (X1, X2), биполярные транзисторы BD677A (Q2), 2SC3284 (Q3), диоды MBR12060CT (D2, D3).

В соответствии с методикой [4] были рассчитаны корректирующие устройства для имитаторов последовательного и параллельного типов, обеспечивающие устойчивость имитатора и воспроизведение требуемого адмитанса СБ.

Модель параллельного типа содержит PSpice модели элементов: операционные усилители AD8066 (X1, X3-X5), полевые транзисторы IRF740 (Q1-Q3), диоды HFA80NC40CSL_IR (D1, D5), 1N4733 (D4), буферный усилитель BUF634 (X2).

В процессе моделирования имитатора СБ последовательного и параллельного типов получены переходные процессы при коммутации нагрузки:

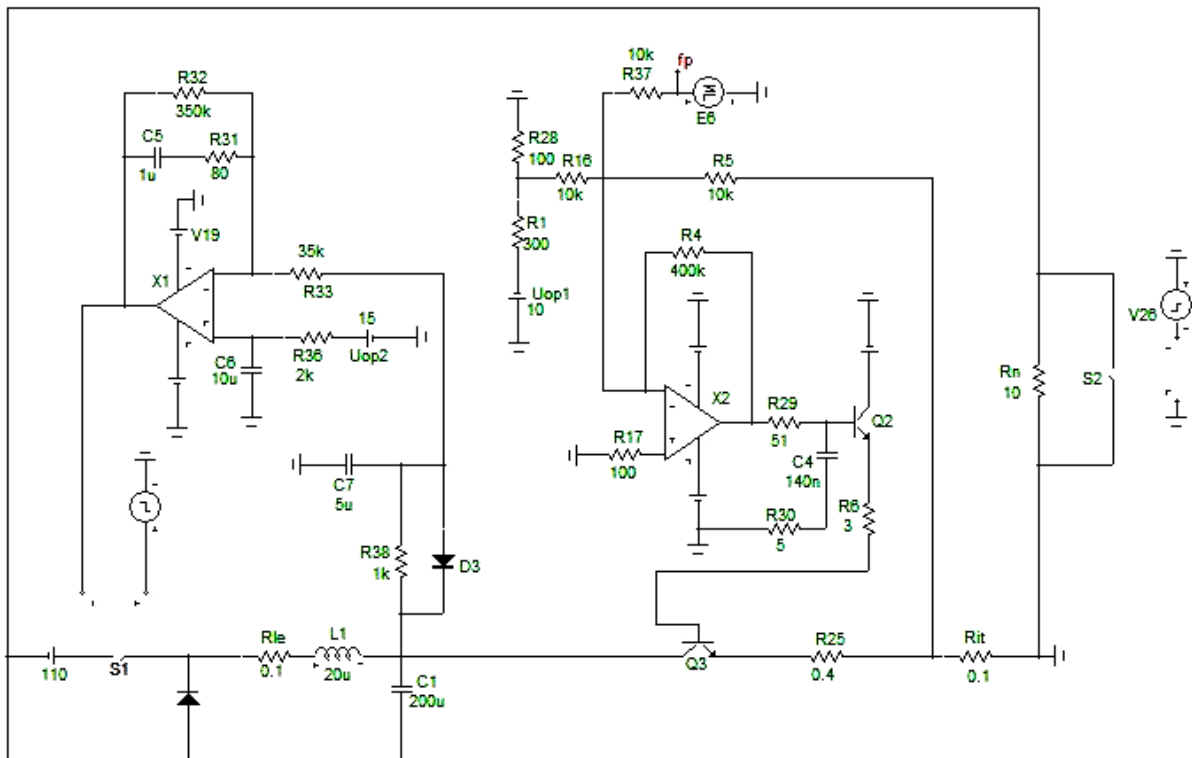


Рис. 5. Схема моделирования имитатора СБ последовательного типа в пакете MicroCAP 7.1

- на токовой ветви ВАХ в последовательной схеме без нелинейного корректирующего устройства (рис. 7);
- на токовой ветви ВАХ в последовательной схеме с нелинейным корректирующим устройством (рис. 8);
- на ветви напряжения ВАХ в параллельной схеме без нелинейного корректирующего устройства (рис. 9);
- на ветви напряжения ВАХ в параллельной схеме с нелинейным корректирующим устройством (рис. 10).

В ИБС последовательного типа без НКУ при периодической коммутации нагрузки наблюдаются просадки до нуля напряжения на НРЭ (рис. 7, в). В этот момент времени уменьшается скорость нарастания напряжения U_H на нагрузке (рис. 7, б) и тока через нагрузку (рис. 7, а). Этот эффект объясняется низким быстродействием ИРЭ: когда напряжение на НРЭ падает до нуля, он переходит в режим насыщения и дальнейший рост напряжения на нагрузке определяется динамикой ИРЭ.

После введения НКУ в ИБС последовательного типа, падения напряжения на НРЭ до нуля не наблюдается (рис. 8, в). Соответственно изменение напряжения на нагрузке определяется только быстродействием НРЭ (рис. 8, а, б), которое хорошо согласуется с динамикой реальной СБ.

В ИБС параллельного типа без НКУ при периодической коммутации нагрузки также заметно влияние низкого быстродействия ИРЭ. Ток НРЭ, стабилизируемый им, при переходе рабочей точки из короткого замыкания в точку максимальной мощности падает до нуля (рис. 9, в), что также приводит к изменению скорости нарастания тока через НРЭ (рис. 9, б) и просадкам напряжения на нагрузке (рис. 9, а).

Введение НКУ в имитатор параллельного типа также привело к улучшению динамических характеристик ИБС (рис. 10). НРЭ не выходит из активного режима работы (рис. 10, в), обеспечивая требуемое быстродействие при широкодиапазонных изменениях нагрузки (рис. 10, а, б).

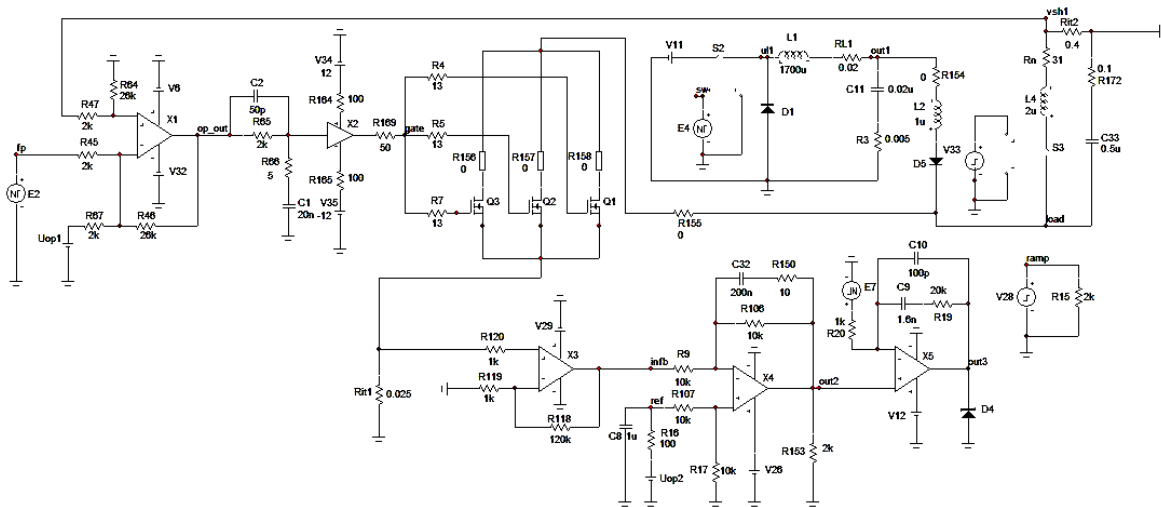


Рис. 6. Схема моделирования имитатора СБ параллельного типа в пакете MicroCAP 7.1

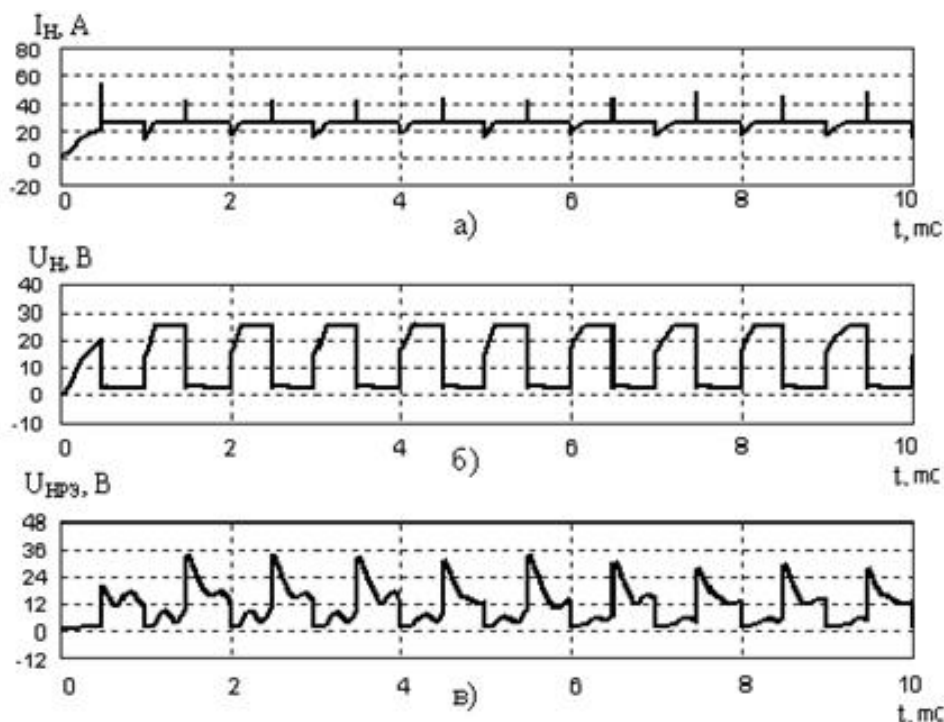


Рис. 7. Переходные процессы в ИБС последовательного типа без нелинейного корректирующего устройства:
а – ток через нагрузку; б – напряжение на нагрузке; в – напряжение на НРЭ

По результатам моделирования ИБС последовательного и параллельного типов можно сделать следующие выводы: введение предложенного нелинейного корректирующего устройства в цепь обратной связи импульсного регулятора приводит к повышению качества имитаторов СБ за счет улучшения динамических свойств имитатора; рассматриваемое корректирующее устройство оказывает влияние на работу ИБС только при периодической коммутации нагрузки.

Библиографические ссылки

1. Мизрах Е. А., Сидоров А. С. Моделирование имитатора солнечных батарей с каскадным включением импульсного и непрерывного усилителей мощности // Вестник СибГАУ. Вып. 1(14). 2007. С. 4–8.
2. Хлыпало Е. И. Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах. Л. : Энергоиздат, 1982.

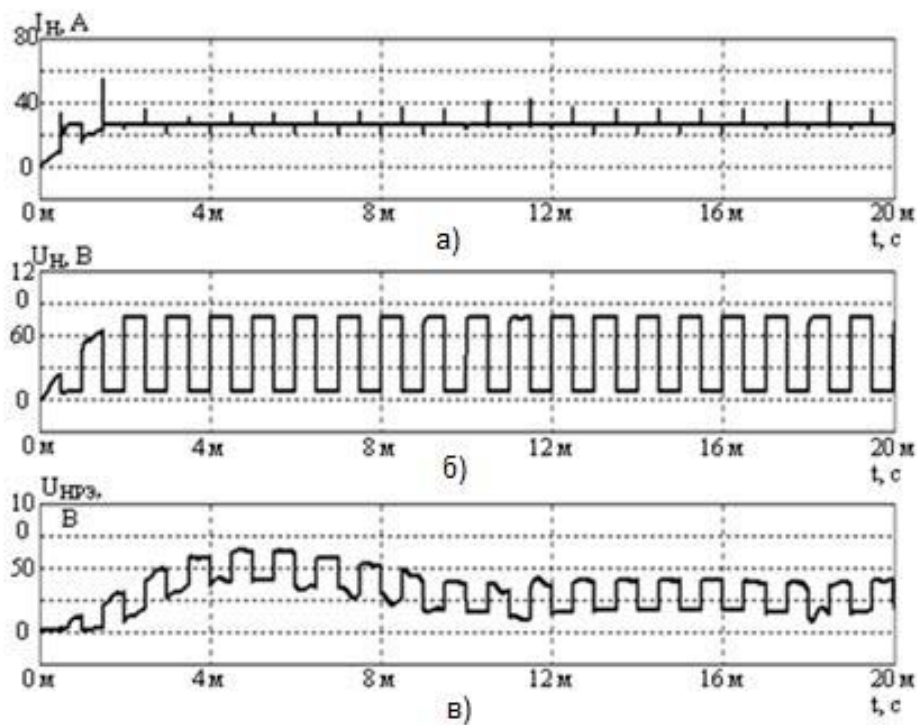


Рис. 8. Переходные процессы в ИБС последовательного типа с нелинейным корректирующим устройством:
а – ток через нагрузку; б – напряжение на нагрузке; в – напряжение на НРЭ

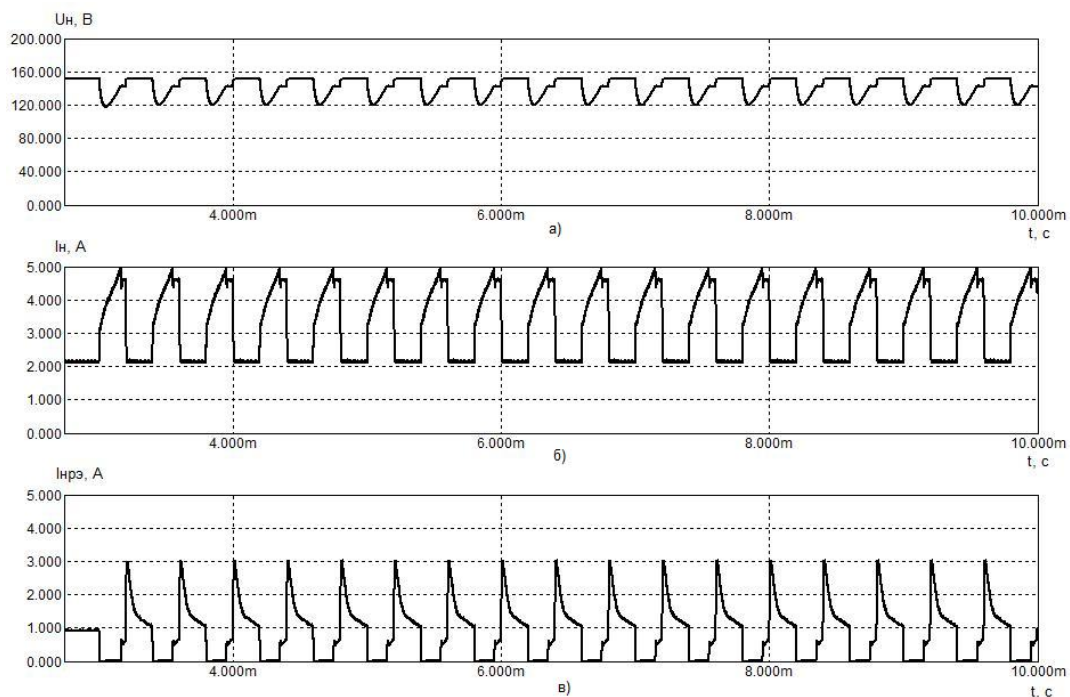


Рис. 9. Переходные процессы в ИБС параллельного типа без нелинейного корректирующего устройства:
а – напряжение на нагрузке; б – ток через нагрузку; в – ток через НРЭ

3. Разевиг В. Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. М. : Горячая линия – Телеком, 2003.

4. Мизрах Е. А., Сидоров А. С., Балакирев Р. В. О синтезе адмитансных частотных характеристик имитатора солнечной батареи // Вестник СибГАУ. Вып. 2(9). 2006. С. 24–28.

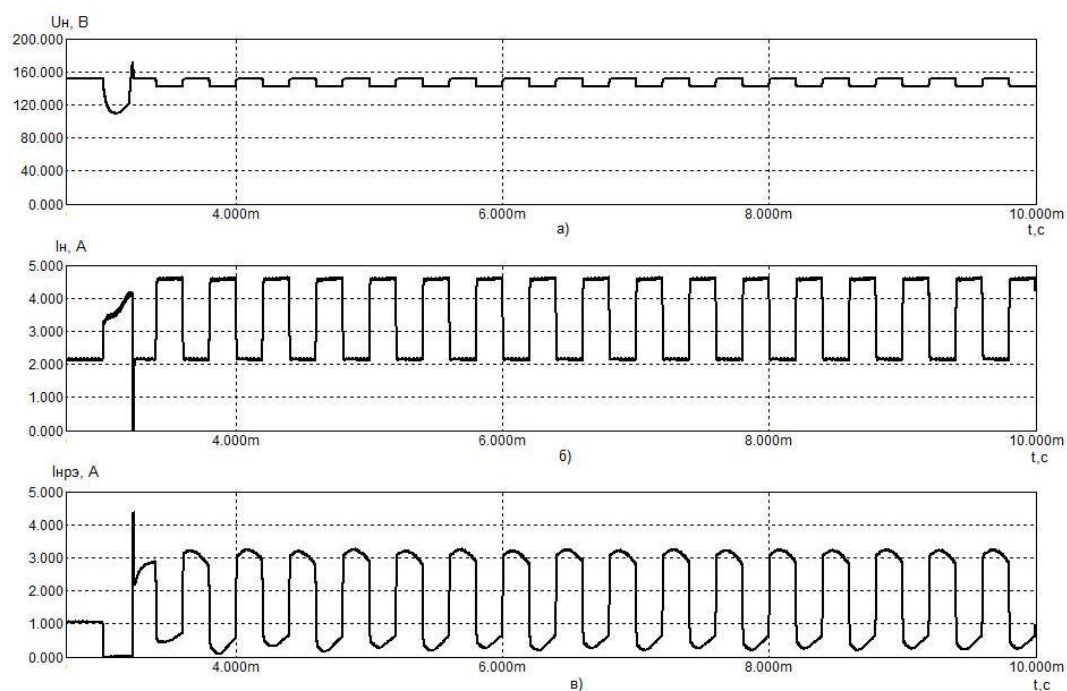


Рис. 10. Переходные процессы в ИБС параллельного типа с нелинейным корректирующим устройством:
а – напряжение на нагрузке; б – ток через нагрузку; в – ток через НРЭ

S. B. Tkachev, E. A. Mizrakh

UPGRADING OF PHOTOVOLTAIC ARRAY SIMULATOR WITH TWO-CIRCUIT CONTROL ELEMENT

The author suggest a method for upgrading of serial and parallel photovoltaic array simulators with two-circuit control element.

Keywords: photovoltaic array, simulator, dynamic properties, spacecraft, nonlinear corrector, modeling.

© Ткачев С. Б., Мизрах Е. А., 2011

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ НАГРЕВА ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Представлены экспериментальные данные по исследованию процесса нагрева воды и водных растворов переменным электромагнитным полем промышленной частоты. Рассмотрен и обоснован возможный механизм нагрева воды и водных растворов переменным электромагнитным полем.

Ключевые слова: нагрев воды и водных растворов, переменное электромагнитное поле, электрохимические реакции, двойной электрический слой.

Нагрев воды и водных растворов, требующий больших затрат энергии, широко используется во многих отраслях экономики. Создание экономичных устройств нагрева воды за счет использования специфических свойств воды и режимов нагрева будет способствовать не только экономии энергоресурсов, но и снижению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Сотрудниками Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева разработан энергосберегающий способ нагрева воды и водных растворов переменным электрическим полем [1]. Особенностью этого способа является нелинейный характер изменения отношения $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ в зависимости от удельной мощности $P_{\text{уд}}$ (см. рисунок). Такой эффект наблюдается при следующих условиях:

- воздействии переменного электрического поля;
- полном отсутствии видимого выделения газа;
- незначительной удельной мощности.

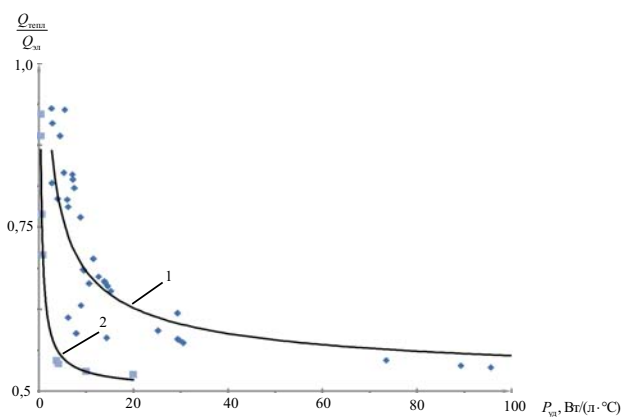


График зависимости $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ от удельной мощности $P_{\text{уд}}$ и материалов электродов:

- 1 – нержавеющая сталь – нержавеющая сталь;
- 2 – нержавеющая сталь – титановый сплав

Методика проведения эксперимента и расчетов. Нагрев воды или водного раствора общим объемом V в течение времени t производился в ячейке из диэлектрического материала (оргстекла), где расположены рабочие электроды. Величины переменного напряжения U , подаваемого на электроды и тока I , определялись с помощью цифрового мультиметра. Температура измерялась в начальный момент и по окончании процесса в трех точках межэлектродного пространства (у дна, в средней части и поверхности воды), разность средней температуры

($\Delta T_{\text{ср}} = T_{\text{ср}0} - T_{\text{ср}t}$) находилась двумя способами: с помощью термометра и термопары (тип К).

Энергетические параметры рассчитывались по следующим формулам:

- удельная мощность, Вт/(л · °C):

$$P_{\text{уд}} = \frac{IU}{V\Delta T_{\text{ср}}};$$

- затраченная удельная электрическая энергия, Дж/л:

$$Q_{\text{эл}} = \frac{IUt}{V};$$

- полученная удельная тепловая энергия, Дж/л:

$$Q_{\text{тепл}} = \frac{cm\Delta T_{\text{ср}}}{V}.$$

Обработка результатов экспериментов и расчетов и построение графиков зависимостей осуществлялись с использованием аппроксимирующей кривой.

Обсуждение результатов экспериментов. При низких значениях удельной мощности отношение $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ стремится к единице. С увеличением удельной мощности происходит его резкое падение, которое может быть связано с изменениями не только химического состава обрабатываемой воды, но и ее структуры.

Еще одной особенностью данного процесса является независимость характера изменения графика от концентрации солей в воде. Это позволяет сделать предварительный вывод об отсутствии влияния концентрации соледержания на отношение $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ в процессе нагрева воды при низких удельных мощностях.

Большое влияние на нагрев воды и водных растворов оказывает материал электродов. Так, применение титанового электрода дает более высокие значения отношения $Q_{\text{тепл}}/Q_{\text{эл}}$ (см. рисунок). Это явление мы можем объяснить процессами, протекающими в двойном электрическом слое титанового электрода, а также образованием на нем окисной пленки, обладающей полупроводниковыми (диодными) свойствами.

На основе полученных опытных данных можно предположить, что такой нагрев происходит за счет специфического воздействия переменного электромагнитного поля: на водный раствор, помимо электрического поля, оказывает влияние и магнитное поле (хотя и незначительное), причем, по утверждению авторов [1], источником энергии служит энергия электрического поля, а магнитное поле играет роль управляющей системы.

В [2] было выдвинуто предположение, что слабые электромагнитные поля не могут вызывать тепловые эффек-

ты напрямую и вносить существенные изменения в скорости реакций за счет температурных эффектов. Поля воздействуют опосредованно, изменяя концентрацию или активность некоторых кинетически значимых молекул и комплексов. Возможным объяснением влияния слабых электромагнитных полей может служить перераспределение зарядов на пространственных неоднородностях среды, в которой они находятся. В воде же постоянно присутствуют связанные протоны, которые могут свободно перемещаться вдоль цепочек водородных связей.

Процесс нагрева воды и водных растворов осуществляется на основе не зависящих друг от друга механизмов:

а) за счет специфического воздействия переменного электромагнитного поля:

- электрохимических реакций на электродах;
- тепловыделения в двойном электрическом слое;

б) за счет вихревых явлений.

Приоритетный механизм на данный момент пока не определен. Мы полагаем, что все механизмы равновероятны и доминирование того или иного механизма зависит от условий протекания процесса.

Нагрев за счет электрохимических реакций на электродах. Теоретическое описание процессов электрохимической обработки воды в современной литературе неоднозначно. Несмотря на то что основные стадии процессов на электродах и объеме воды и ее растворов определены достаточно четко, пути проведения этих процессов, а также интерпретация полученных результатов не дают конкретного представления о механизме электролиза.

Так, в монографии [3] делается аргументированная переоценка теоретических представлений о процессах, происходящих на электродах при электролизе воды. Здесь же обоснована возможность получения дополнительной (избыточной) энергии из энергий химических связей молекул воды при условии, что электролиз воды будет сопровождаться процессами синтеза сначала атомов, а затем – и молекул водорода.

Согласно [3; 4], процесс получения дополнительной энергии катодного выделения водорода можно представить в виде таблицы.

В [3] также приведены следующие оценки дополнительной тепловой энергии: при синтезе 1 л воды выделяется в 1,62 раза больше энергии, чем при сжигании 1 л бензина, и в 3,0 раза больше, чем при сжигании водорода, полученного из 1 л воды.

Дополнительным фактором, усложняющим понимание процессов воздействия на воду электромагнитного поля, является характер его зависимости от времени: импульсный (прямой и обратный) и переменный.

В [5] отмечается, что характерное влияние импульсного тока обусловлено главным образом процессами, протекающими в паузе, а также сверхвысокими амплитудами. Скорость различных электрохимических процессов в водных растворах существенно изменяется при вполне определенных частотах тока, различных для каждого элемента.

Дискретный характер тока позволяет эффективно воздействовать на электродные процессы за счет увеличения скорости химических реакций на электродах и в объеме. В паузу тока в зависимости от ее длительности происходит частичное выравнивание концентраций катионов и анионов в приэлектродных областях и отвод продуктов реакций. Это подтверждается инерционностью системы: при проведении экспериментов был замечен эффект продолжительного по времени нагрева воды и водного раствора после отключения напряжения.

Существенным условием, радикально влияющим на полученный результат, является обработка на резонансных частотах (более подробно об этом см. ниже).

Однако механизм образования нагрева за счет электрохимических реакций нельзя считать основным в силу того, что с ростом частоты тока электрод становится малополяризуемым и на нем прекращается побочное выделение продуктов электродных реакций (например, кислорода), так как с увеличением частоты переменного тока доля относительно медленно протекающих необратимых процессов на электроде снижается [6]. Этот факт может объяснить отсутствие выделения газов на электродах во время проведения экспериментов.

С другой стороны, переменный характер электромагнитного поля оказывает серьезное влияние на кластерные структуры воды, которые на границах раздела фаз «жидкость–воздух» выстраиваются в определенном порядке, при этом все кластеры колеблются с одинаковой частотой. В [7] отмечается, что возникающие вблизи электродов высокоэнергетические резонансные кластеры из осциллирующих диполей (молекул воды, OH⁻ и т. д.) в динамических условиях при резонансе способны проявлять эффекты динамической стабилизации, хотя в статике такие системы из диполей неустойчивы. Исходя

Стадии катодного выделения водорода

Стадия	Реакция	Описание	Энергоемкость, кДж/моль
1	–	Транспорт ионов H ⁺ (H ₃ O ⁺) или молекул H ₂ O к катоду	–
2	H ₃ O ⁺ + e ⁻ → H _{адс} + H ₂ O H ₂ O + e ⁻ → H _{адс} + OH ⁻	Разряд ионов H ₃ O ⁺ или молекул H ₂ O с образованием адсорбированных атомов водорода	-1 072
3	H ₃ O ⁺ + H _{адс} + e ⁻ → H ₂ + H ₂ O	Синтез атома водорода (электрохимическая десорбция)	+1 312
	H _{адс} + H _{адс} → H ₂	Рекомбинация образующихся адсорбированных атомов водорода в молекулу H ₂ (каталитическая десорбция)	+436
4	–	Переход молекулярного газообразного водорода в газовую фазу	–
	2H ₂ + O ₂ → 2H ₂ O	Образование воды	+285,8

из этого в [8] указывается на возможность появления электромагнитного излучения уже самой кластерной структуры.

Частота колебаний кластеров воды и соответственно частота электромагнитных колебаний может быть определена по формуле [9]:

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{\alpha}{M}}, \quad (1)$$

где α – поверхностное натяжение воды при заданной температуре, $\alpha = 72,86 \cdot 10^{-3}$ Н/м; M – масса кластера:

$$M = \rho V,$$

здесь V – объем кластера, ρ – плотность воды (1 г/см^3).

Предварительный расчет массы кластера по формуле (1) для процессов, протекающих при переменном токе частотой 50 Гц, дал значение $M = 7,38 \cdot 10^{-7}$ кг, что соответствует структуре кластера из $56 \cdot 10^{12}$ молекул. Понятно, что образование такого кластера маловероятно в силу неустойчивости кластерных структур, а также из-за тепловых воздействий.

Нагрев за счет тепловыделения в двойном электрическом слое. В процессе электролиза в водных растворах вблизи электрода в результате полимеризации воды происходит ее уплотнение до $1,5 \text{ г/см}^3$ на толщине в 3...4 монослоя молекул, примыкающих к электроду. Уплотнение вещества без повышения давления означает возрастание в нем энергии связи, которое должно сопровождаться выделением тепла. Локализация тепловой энергии на поверхности электрода, т. е. в двойном электрическом слое, вызывает изменение его температуры, а часть энергии теплового импульса распространяется в глубину электролита, создавая таким образом тепловой барьер, затрудняющий транспортировку разряжающихся ионов к поверхности электрода.

Необходимо отметить, что выделение энергии в двойном электрическом слое достигает значительных величин за достаточно короткий промежуток времени: температура может возрастать с 20 до 40...60 °C за 5...10 с в зависимости от плотности тока [10].

Оценка выделившейся энергии в двойном электрическом слое произведена по формуле, предложенной в [11] для определения изменения температуры:

$$\Delta T = \frac{\chi E_{\text{д.э.с}} E t}{\rho C}, \quad (2)$$

где χ – удельная электропроводность раствора, См/м; $E_{\text{д.э.с}}$ – напряженность двойного электрического слоя, В/м; E – напряженность электрического поля, В/м; t – время процесса, с; ρ – плотность двойного электрического слоя, кг/м³; C – удельная теплоемкость двойного электрического слоя, Дж/(кг·K).

Предварительная оценка выделившейся энергии в двойном электрическом слое по формуле (2) показала, что для обычной водопроводной воды, в зависимости от материала электродов и режима нагрева, она составляет $0,03 \dots 10^3$ кДж/моль.

Необходимо указать, что приведенная выше оценка для процессов на переменном токе не совсем корректна, так как формула (2) дана для расчета изменения температуры при постоянном токе, однако она характеризует

динамику изменения тепловыделения в двойном электрическом слое в зависимости от внешних воздействий.

Нагрев за счет вихревых явлений. Под действием электромагнитных полей в водных средах как в объеме, так и на границе «жидкость–электрод», возникают конвекционные эффекты, обусловленные объемными силами негидродинамической природы (например, разностью плотностей), позволяющие управлять процессами массообмена в пограничных слоях в области межфазных границ.

По данным [12], в макрообъемах при минимальной силе тока возникает конвекция жидкости и вихревые потоки, причем их скорость увеличивается с ростом силы этого тока.

Согласно гипотезе Ю. А. Колясникова о структуре воды [13], те обрывки цепочек из тетрамеров (H_2O)₄, которые всегда имеются в жидкой воде, при ее быстром и неравномерном течении в пространстве должны выстраиваться и вытягиваться вдоль линий тока воды, как вытягиваются водоросли в реке вдоль ее течения, т. е. их хаотичное расположение сменяется на упорядоченное. При этом вероятность того, что концы цепочек тетрамеров случайно столкнутся друг с другом и соединятся свободными водородными связями, возрастает втрое по сравнению с неупорядоченным расположением. Это следует из законов геометрии. А каждая вновь образованная водородная связь – это 0,26...0,5 эВ (~25...48 кДж/моль) энергии, выделяющейся из воды. В вихревом потоке такие цепочки, имеющие винтовую структуру, должны упорядочиваться и сцепляться еще быстрее, чем в прямолинейном, чему способствуют линии тока воды. Вихревое движение воды выстраивает обрывки цепочек тетрамеров воды параллельно друг другу, что облегчает сцепление для их концов и полимеризацию воды без ее охлаждения. Такая полимеризация сопровождается выделением энергии связи между тетрамерами в виде излучений и тепла.

Обобщая приведенные выше рассуждения о механизме нагрева воды и водных растворов при воздействии переменного электромагнитного поля, можно отметить следующее:

- процесс нагрева является комплексным. Ни один из рассмотренных выше механизмов нельзя назвать основным при нагреве в силу специфичности воды, уникальности и непостоянства ее свойств даже в относительно короткий промежуток времени;

- в структуре воды происходят разнонаправленные процессы: образование новых структур под действием поляризации с выделением тепла и их разрушение с поглощением тепла.

Моделирование процесса энергосберегающего нагрева воды и водных растворов позволит выявить основные факторы, влияющие на процесс, а за счет специфики структуры и режимов нагрева воды и водных растворов добиться экономии затрат энергии.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2279016 РФ, МКИ³ C 01 F 24 H 1/20. Электронагреватель / И. Я. Шестаков, А. А. Фадеев, А. И. Стрюк.

№ 2005103779/06 ; заявл. 14.02.2005 ; опубл. 27.06.2006, Бюл. № 18.

2. Влияние слабого электромагнитного поля на скорость производства перекиси водорода в водных растворах / В. О. Пономарев, В. В. Новиков, А. В. Карнаухов, О. А. Пономарев // Биофизика. 2008. Т. 53, вып. 2. С. 197–204.

3. Канарёв Ф. М. Вода – новый источник энергии. 2-е изд. перераб и доп. Краснодар : Изд-во Кубан. гос. аграр. ун-та, 2000.

4. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия : учебник для хим.-технол. спец. вузов. 4-е изд., перераб и доп. М. : Высш. шк., 1984.

5. Костин Н. Н., Кублановский В. С., Заблудовский А. В. Импульсный электролиз / отв. ред. А. В. Горыдский. Киев : Наук. думка, 1989.

6. Могорян Н. В. Поляризационные и электрохимические измерения при электролизе на асимметричном токе // Электрон. обработка материалов. 1982. № 5. С. 15–19.

7. Широнос В. Г. Резонанс в физике, химии и биологии. Ижевск : Изд. дом «Удмуртский университет», 2001.

8. Барабаш Ю. М. Динамика параметров водных систем под действием слабого электромагнитного излучения. М. : Наука, 2001.

9. Лошицкий П. П. Механизмы воздействия электромагнитных волн низкой интенсивности на воду и водные растворы // Электроника и связь. 2002. № 15. С. 18.

10. Исследование процесса электрохимического полирования деталей подшипников из стали 11X18М. П. Влияние температуры / А. М. Филиппенко, В. Д. Кашеев, Ю. С. Харитонов и др. // Электрон. обработка материалов. 1979. № 2. С. 29–30.

11. Багманов В. Х. О механизме электролитического пробоя электролита в условиях ЭЭХО // Технология авиастроения. Электрические методы обработки материалов : межвуз. науч. сб. Вып. II. Уфа : Изд-во Уфим. авиац. ин-та им. С. Орджоникидзе, 1982.

12. Бондаренко Н. Ф., Зак Е. З. Электромагнитные явления в природных водах. Л. : Гидрометеоздат, 1984.

13. Колясников Ю. А. К тайнам мироздания. Магадан : Изд-во Сев.-Вост. науч. центра Дальневосточ. отд-ния Рос. акад. наук, 1997.

A. A. Fadeev, I. Ya. Chestakov

ABOUT POSSIBLE MECHANISM OF HEATING OF WATER AND WATER SOLUTIONS UNDER THE INFLUENCE OF VARIABLE ELECTROMAGNETIC FIELD

The work presents experimental data of research of a process of heating of water and water solutions by variable electromagnetic field of industrial frequency. It is considered and motivated possible mechanism of heating of water and water solutions by variable electromagnetic field.

Keywords: heating of water and water solutions, variable electromagnetic field, electrochemical reactions, double electric layer.

© Фадеев А. А., Шестаков И. Я., 2011

УДК 66.017, 543.424.2

О. В. Шабанова, А. С. Крылов

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНТЕЗЕ СИЛИКАТНЫХ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ*

Методом лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния света исследуются структурные особенности кремнеземсодержащих материалов и нового силикатного связующего, приготовленного на их основе.

Ключевые слова: силикатное связующее, коллоидный кремнезем, минераловатные изделия, КР-спектры.

Одним из важнейших направлений практического использования коллоидных систем кремнезема является получение связующих материалов на их основе. Активно ведутся исследования по применению природных и синтезированных неорганических коллоидных связующих

силикатного состава в производстве теплоизоляционных минераловатных изделий, поскольку данный класс материалов позволяет заменить токсичные синтетические связующие композиции на основе фенолформальдегидных смол (ФФС).

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки науки и научно-технической деятельности».

Синтетические связующие на основе ФФС, широко используемые в минераловатной промышленности, отвечают практически всем требованиям, предъявляемым к связующим, только при условии создания многокомпонентных составов с добавлением антипиренов, нейтрализаторов, стабилизаторов и т. д. Но и в этом случае максимально возможная температура применения материалов на их основе не превышает 400 °С [1]. Нарекания потребителей также вызывает значительная усадка минераловатных теплоизоляционных изделий в процессе эксплуатации.

В связи с этим представляется перспективным использование неорганических связующих, обладающих повышенной адгезионной способностью и позволяющих создавать изделия, способные выдерживать температуры до 800 °С без потери массы и прочности. Такими свойствами обладают, например, природное неорганическое связующее – бентонитовая глина – и составы вяжущих композиций, разработанные на основе глинозема, жидкого стекла, кремнезема, алунда и других видов алюмосиликатных материалов. Однако применение бентонитовой глины ограничено дефицитностью данного вида сырья, а искусственные алюмосиликатные связующие отличаются повышенной морозостойкостью, атмосферостойкостью и температуростойкостью, но требуют значительных затрат времени и энергоресурсов на изготовление [2; 3].

Неоднократно предпринимались попытки использовать растворы силикатов натрия и калия для получения жестких минераловатных плит. Неорганическая природа полимера, высокая температура эксплуатации, низкая стоимость, пожаробезопасность и экологичность относятся к их положительным характеристикам. Но их применение сдерживают такие серьезные недостатки, как технологические затруднения, связанные с равномерным распределением связующего при сушке изделий, и ограниченная водостойкость материала, обусловленная высокой растворимостью жидких стекол в высушенном виде.

Целью данного исследования было изучение процесса формирования и структурных особенностей силикатного коллоидного связующего, изготовленного из модифицированного тетраэтоксисилом натриевого жидкого стекла.

Гидролиз тетраэтоксисилана с выделением нанодисперсного коллоидного кремнезема в водном растворе силиката натрия приводит к повышению силикатного модуля жидкого стекла в несколько раз, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики полученного связующего и, соответственно, минераловатной продукции на его основе.

В процессе синтеза коллоидных систем кремнезема (рис. 1), содержащих щелочные компоненты (катионы щелочных металлов или аммоний), величина pH раствора должна быть в пределах 8...10. При понижении pH менее 7 резко возрастает опасность гелеобразования, а в сильнощелочных средах растет скорость деполимеризации. При pH более 7 велика энергия электростатического отталкивания частиц коллоидного кремнезема за счет образования двойного электрического слоя на поверхности дисперсной фазы, однако учет одних электростатических сил не позволяет объяснить большую агрегативную устойчивость щелочных нанодисперсий кремнезема в воде. В щелочных средах высокая лиофильность коллоидных частиц кремнезема и рост агрегативной устойчивости обеспечиваются совокупными факторами электростатической и неэлектростатической природы (структурным, стерическим, энтропийным), роль которых увеличивается при росте pH более 7 по мере формирования поверхностных слоев коллоидной частицы.

Соотношение концентраций оксидов кремния и щелочного компонента в силикатных коллоидных системах принято характеризовать величиной силикатного модуля, который определяется как мольное соотношение $[\text{SiO}_2] : [\text{M}_2\text{O}]$, где М – катион щелочного металла или аммоний. Растворы силикатов с мольным отношением меньше 4 принято называть жидкими стеклами, силикатный модуль золей соответствует диапазону примерно от 40 до 300, силикатные системы, имеющие соотношение $[\text{SiO}_2] : [\text{M}_2\text{O}]$ от 4 : 1 до 25 : 1, обычно называют полисиликатами [4].

Золи кремнезема, содержащие относительно крупные дисперсные частицы, подвержены седиментации, что значительно снижает срок хранения связующих материалов на их основе. Полисиликаты в качестве клеящих композиций являются более предпочтительными.

Полученное авторами силикатное связующее относится к полисиликатам (силикатный модуль равен 20...25) с $\text{pH} \approx 9...9,5$.

Соотношение между электростатической и неэлектростатической составляющими агрегативной устойчивости коллоидных растворов кремнезема существенно зависит от степени гидроксирования поверхности коллоидных частиц, т. е. от концентрации силанольных групп – предистории получения дисперсной системы. Поэтому приводимые в литературе данные по агрегативной устойчивости различных дисперсий кремнезема противоречивы, что объясняется не только влиянием размеров частиц на стабильность дисперсий, но и условиями их получения [4]. Экспериментальным методом, позволяющим разрешить эти противоречия, является спектроскопия комбинационного рассеяния (КР) света.

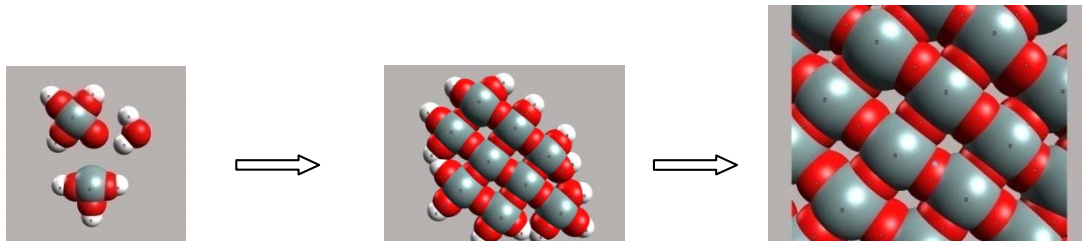


Рис. 1. Схема формирования полимерных силикатных частиц

Преимуществом метода спектроскопии комбинационного рассеяния света является его универсальность. Он применяется для исследования газообразных, жидких и твердых тел, при этом отсутствует необходимость в специальной пробоподготовке. В ряде практических задач диагностики жидких сред КР-спектроскопия, обладающая высокой чувствительностью количественных параметров спектральных полос к типу и концентрации растворенных в жидкости веществ, крайне актуальна [5; 6]. Именно по этим причинам данный метод был использован при отработке технологических условий изготовления неорганического полимерного связующего, когда изменялись концентрации компонентов, температурные условия, время и интенсивность механоактивации. Краткое описание результатов исследований для оптимально подобранных условий получения неорганического полимерного связующего силикатного состава представлено ниже.

На спектрометре комбинационного рассеяния света Horiba Jobin Yvon T64000 были исследованы образцы тетраэтоксисилана (рис. 2), натриевого жидкого стекла (рис. 3) и приготовленного на их основе неорганического полимерного связующего силикатного состава (рис. 4–6). Для сравнения представлены КР-спектры этанола и воды (рис. 7).

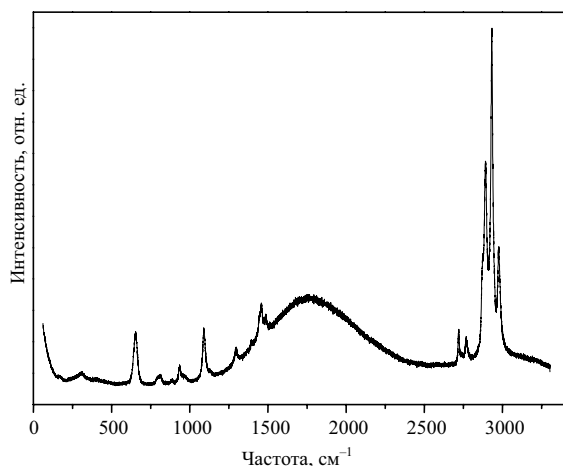


Рис. 2. КР-спектр тетраэтоксисилана

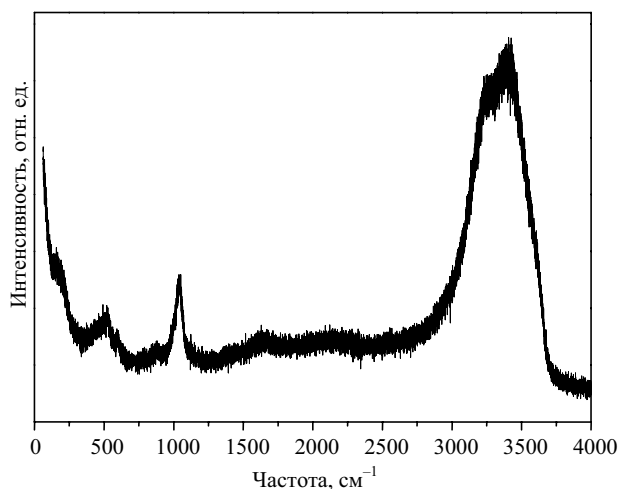


Рис. 3. КР-спектр натриевого жидкого стекла

В КР-спектрах этанола C_2H_5OH и тетраэтоксисилана $Si(OC_2H_5)_4$ видно наличие линий в диапазоне 1 250...1 300,

1 480...1 510 cm^{-1} , относящихся к деформационным колебаниям C–C-связей. Интенсивные полосы в области 2 600...3 050 cm^{-1} обусловлены валентными симметричными и асимметричными колебаниями связей CH_2 и CH_3 этанольных групп в спирте и тетраэтоксисилане.

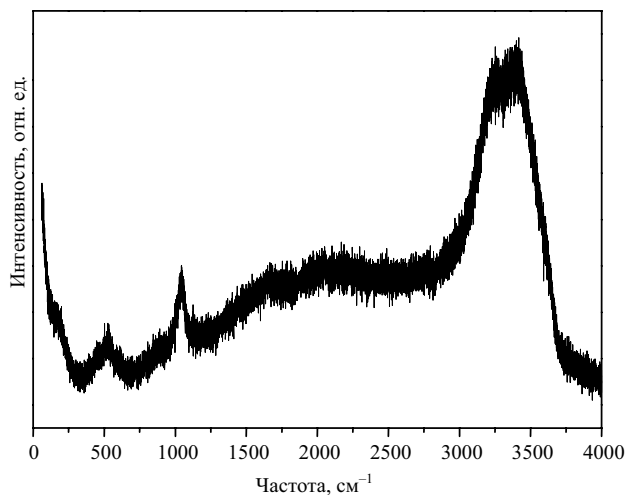


Рис. 4. КР-спектр свежеприготовленного неорганического силикатного связующего

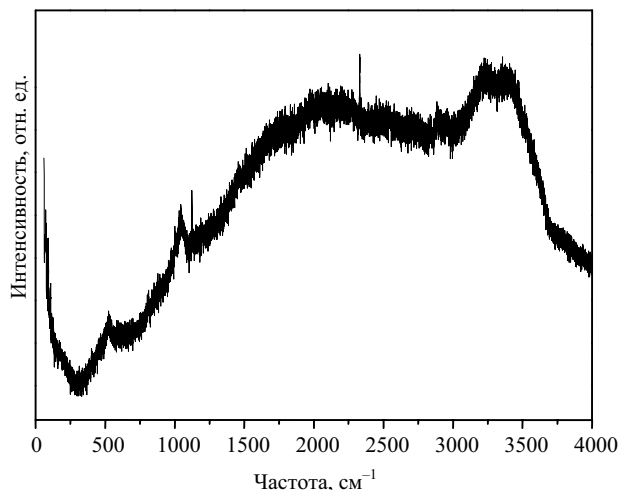


Рис. 5. КР-спектр неорганического силикатного связующего после начала полимеризации в процессе сушки

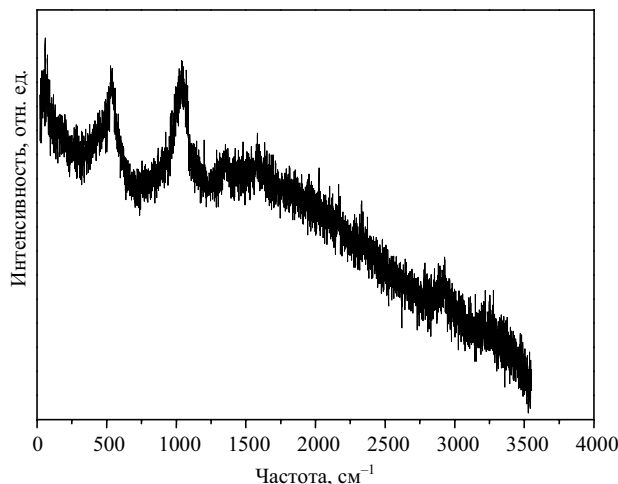


Рис. 6. КР-спектр полностью высушенной пленки неорганического силикатного связующего

Для структурного компонента Si–O–Si характерны собственные частоты колебаний в области $1\,106\text{ см}^{-1}$ [7]. Они присутствуют с некоторой вероятностью в тетраэтоксисилане (у этанола в этой же области имеется полоса валентных колебаний C–O) и определенно – в жидком стекле и силикатном связующем.

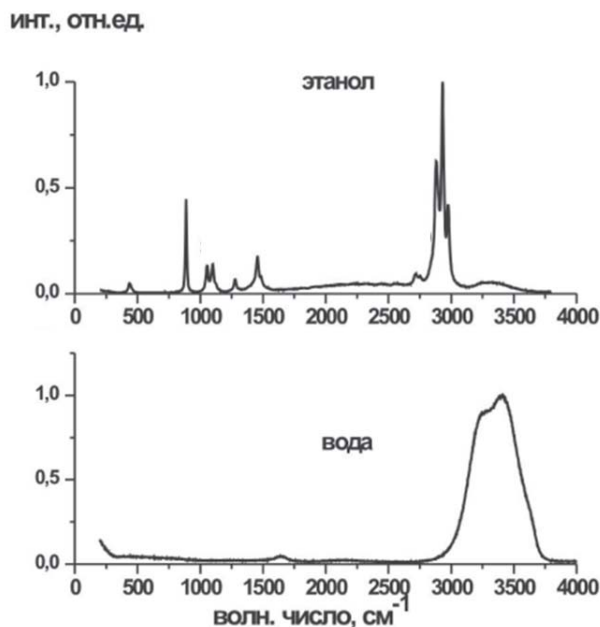


Рис. 7. КР-спектры этанола и воды [5]

На КР-спектрах полученного связующего видно полное отсутствие линий, обусловленных колебаниями молекул этанола.

Таким образом, все вышеперечисленное указывает на то, что по разработанной технологии получается именно неорганическое полимерное связующее силикатного состава.

Весьма информативным является поведение воды в жидком стекле и силикатном связующем. Валентная полоса КР групп O–H воды, которая находится в области $2\,700\ldots 3\,750\text{ см}^{-1}$, несколько изменяет свое положение, ширину и интенсивность при переходе от силикатных моно- и низкомолекулярных полимеров в жидком стекле к более высокомолекулярным структурам в неорганическом силикатном связующем, возможно за счет формирования двойного электрического слоя на поверхнос-

ти частиц (см. рис. 3–5), и полностью исчезает в спектре высушенной пленки связующего (см. рис. 6).

Таким образом, в ходе исследований методом лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния света были выявлены молекулярные механизмы формирования полимерной структуры силикатного связующего и оптимальные условия его синтеза. На основе полученного связующего были разработаны методики изготовления безусадочных, нетоксичных и негорючих теплоизоляционных минераловатных изделий, также обладающих улучшенными прочностными и теплофизическими характеристиками. Эти разработки положили начало исследованиям по получению новых безобжиговых керамических теплоизоляционных материалов на основе силикатного коллоидного связующего.

Библиографические ссылки

1. Канашов С. С. Современные системы связующих для производства теплоизоляционных материалов и изделий: состояние и перспективы развития // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья : докл. VII Всерос. науч.-практ. конф. Белокуриха, 2007. С. 18–19.
2. Латышева Е. А. Теплоизоляционные изделия на основе минерального волокна и алюмосиликатной связки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2006.
3. Шабанова О. В., Павлов В. Ф., Шабанов В. Ф. Исследование вяжущих свойств пеносиликата алюмосиликатной системы // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья : докл. VII Всерос. науч.-практ. конф. Белокуриха, 2007. С. 44–46.
4. Шабанова Н. А., Попов В. В., Саркисов П. Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов : учеб. пособие. М. : Академкнига, 2007.
5. Буриков С. А., Доленко Т. А. Лазерный анализатор жидкостей с комплексным программным обеспечением // Вода: химия и экология. 2010. № 1. С. 31–37.
6. Ботвич А. Н., Подопригра В. Г., Шабанов В. Ф. Комбинационное рассеяние света в молекулярных кристаллах. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1989.
7. Крутикова А. А. Спектральный анализ композитных материалов на основе нанокристаллического кремния : автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2007.

O. V. Shabanova, A. S. Krylov

RESEARCH OF MOLECULAR PROCESSES IN SYNTHESIS OF SILICATE COLLOIDAL SYSTEMS BY METHOD OF RAMAN SPECTROSCOPY

In the article we investigate features of silicate materials and the new silicate binding substance based on it by combinational scattering method.

Keywords: silicate binding, colloidal silica, mineral wool materials, CS-spectra.

© Шабанова О. В., Крылов А. С., 2011

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БАЗЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Применение классических математических методов для задач принятия решений с затруднено, однако в этом случае эффективны интеллектуальные системы, представляющие собой синтез адаптивных и традиционных математических алгоритмов. При векторном подходе задача принятия решений посредством декомпозиции свойств альтернатив представляется иерархической системой критериев. Возникает проблема обратного перехода к оценке и сравнению альтернатив в целом, которая предполагает задачу композиции критериев по уровням иерархии, осуществляемой нейронной сетью. Эта задача решается методом вложенных скалярных сверток. Описывается разработанная иерархическая нечеткая нейронная сеть.

Ключевые слова: нечеткая нейронная сеть, многокритериальный выбор альтернатив, иерархические системы.

Разработка методов, средств и технологий функционирования сложных объектов и систем и управления ими позволяет эффективно решать многие практические задачи как обработки информации, так и управления. Однако всегда существует значительный класс задач, для которых применение классических математических методов либо невозможно, либо затруднено. Это связано с естественным разрывом между предположениями, на которых базируются те или иные математические методы, и свойствами информации о реальных объектах реальной задачи, примерами чего могут быть:

- предположение о том, что существует взаимно однозначное соответствие между реальными объектами и их описаниями, т. е. разным объектам соответствуют разные описания и одному объекту соответствует только одно описание;

- предположение о том, что поведение объекта и/или управление им можно выразить в виде системы «Если ..., то ...» правил.

Указанные задачи, не поддающиеся формализации, характеризуются следующими свойствами:

- сложной структурой объекта;
- необходимостью быстрого принятия решения на основе переработки больших объемов информации в условиях постоянно меняющихся внешних и внутренних характеристик системы;
- стохастическим и динамическим характером процессов в объекте;
- большой размерностью вектора входных факторов;
- наличием качественных, порядковых и количественных факторов;
- мультиколлинеарностью вектора входных факторов;
- дефицитом наблюдений и др.

Перечисленные выше особенности повышают сложность алгоритмического описания модели решения плохо формализованных задач. Такими задачами являются:

- разработка и оптимизация информационных моделей для обеспечения лица, принимающего решение (ЛПР), достаточным объемом актуальной релевантной информации;
- разработка эвристических процедур, позволяющих отсеивать заведомо худшие варианты решения задачи;
- разработка алгоритмов обработки нечисленной нечеткой информации для принятия на ее основе управленческих решений;

- разработка и реализация информационно-коммуникационной инфраструктуры систем поддержки принятия решений (локальных и корпоративных сетей).

В этом случае говорят о необходимости информационной поддержки решения задачи, т. е. о разработке набора методов, позволяющих получить достоверное решение задачи.

Важным свойством систем поддержки принятия решений является наличие двух взаимодействующих компонентов: человека и компьютерной (формальной) системы. Основными проблемами разработки таких систем являются учет и моделирование описания сценариев по динамике реальных объектов, анализ и обработка нечисленной нечеткой информации и интерпретация результатов в формальном компоненте системы. При этом возникает необходимость оптимизации алгоритмов взаимодействия компонентов человеко-компьютерных систем и обработки нечеткой информации для принятия решений. Реализация систем интеллектуального анализа данных на базе нечеткой нейросети, т. е. синтеза алгоритмов нейроинформатики и нечеткой логики, повышает качество обработки информации и снижает вычислительные затраты. Оптимальный результат обработки информации выбирается исходя из условий наилучшей комплексной оценки эффективности различных моделей анализа данных. Создание и развитие новых методов решения плохо формализованных задач основано на автоматизации некоторых интеллектуальных функций анализа данных. В настоящее время на этом пути широкое применение нашли интеллектуальные информационные алгоритмы.

В достаточно общем виде задача принятия решений может быть представлена следующим образом [1]:

$$\{\{x\}, Y\} \rightarrow x^*,$$

где $\{x\}$ – множество объектов (альтернатив); Y – функция выбора (правило, устанавливающее предпочтительность на множестве альтернатив); x^* – выбранные альтернативы (одна или более).

Если в процессе решения используется целостный подход, то механизм выбора отражается непосредственным использованием функции Y . При этом осуществляется оценка объекта в целом и альтернатива выбирается при сравнении объектов как гештальтов (целостных об-

разов объектов без детализации свойств). Для лица, принимающего решение, функция выбора Y в этом случае означает «нравится» или «не нравится». Сложнее обстоит дело, когда возникает вопрос, почему нравится (или не нравится).

В теории принятия решений более распространен векторный подход, при котором объект оценивается не в целом, а по результатам сравнения отдельных его свойств. В отличие от откровенно субъективного целостного подхода, этот подход позволяет формализовать процесс принятия решений.

Механизм векторного подхода при выделении свойств альтернатив требует осуществления декомпозиции (разложения) функции Y на совокупность (вектор) функций выбора y . Под декомпозицией функции выбора Y понимается ее эквивалентное представление посредством определенной совокупности других функций выбора y , композицией которых является исходная функция выбора Y [2]. Выделение свойств альтернатив является декомпозицией, приводящей к иерархической структуре свойств. Свойства первого иерархического уровня могут подразделяться на наборы следующих конкретных свойств и т. д. Глубина деления определяется стремлением дойти до тех свойств, которые удобно сравнивать одно с другим, например свойств, которые оцениваются в числах.

Количественные показатели свойств объекта, числовые значения которых являются мерой качества объекта оценки по отношению к данному свойству, называются критериями. Получение набора критериев – конечный итог иерархической декомпозиции. Количество уровней зависит от требуемой глубины декомпозиции. Для каждого начального свойства глубина декомпозиции может быть различной.

После выполнения этапа декомпозиции и оценки отдельных свойств должна быть разрешена проблема обратного перехода к требуемому сравнению альтернатив в целом. Эта проблема предполагает решение задачи композиции критериев по уровням иерархии, что достаточно не просто, особенно при значительной глубине декомпозиции свойств. В простейшем и наиболее распространенном случае двухуровневой иерархии задача композиции решается традиционным получением однократной скалярной свертки критериев. Однако уже при наличии трехуровневой иерархии требуются другие подходы.

Отметим, что любая многокритериальная задача может быть представлена иерархической системой, на нижних уровнях которой осуществляется оценка объекта по отдельным свойствам с помощью векторов критериев, а на верхнем уровне посредством механизма композиции получается оценка объекта в целом (см. рисунок).

Постановка задачи. Качество альтернативы определяется иерархической системой векторов

$$y^{(j-1)} = \{y_i^{(j-1)}\}_{i=1}^{n^{(j-1)}}, j \in [2, m],$$

где $y^{(j-1)}$ – вектор критериев на $(j-1)$ -м уровне иерархии, по компонентам которого оценивается качество свойств альтернативы на j -м уровне; m – количество уровней иерархии; $n^{(j-1)}$ – количество оцениваемых свойств $(j-1)$ -го уровня иерархии. Численные значения n критериев

$y^{(1)} = y$ первого уровня иерархии для этой альтернативы заданы. Ясно, что $n^{(1)} = n$ и $n^{(m)} = 1$.

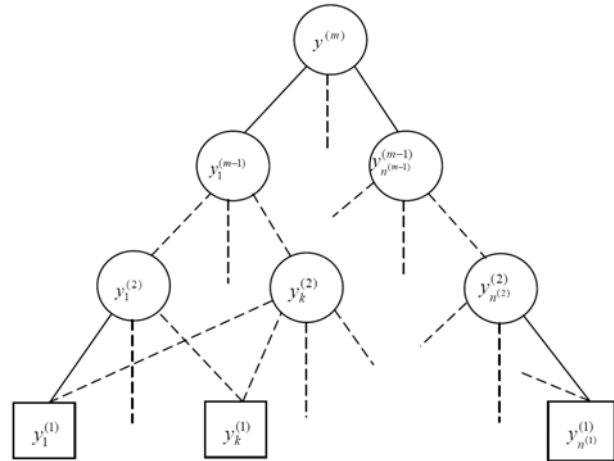


Схема системы критериев качества альтернативы

Один и тот же критерий $(j-1)$ -го уровня может участвовать в оценке нескольких свойств j -го уровня, т. е. в иерархии возможны перекрестные связи.

Важность (значимость) каждого из компонентов критерия $(j-1)$ -го уровня при оценке k -го свойства j -го уровня характеризуется коэффициентом приоритета, совокупность которых составляет систему векторов приоритета

$$p_{ik}^{(j-1)} = \{p_{ik}^{(j-1)}\}_{k=1}^{n^{(j)}}, j \in [2, m].$$

Требуется найти аналитическую оценку y^* и качественную оценку эффективности данной альтернативы, а из имеющихся альтернатив выбрать лучшую.

Метод решения. Для аналитической оценки эффективности иерархических структур предлагается применять метод вложенных скалярных сверток [3]. Композиция осуществляется по принципу «матрешки»: скалярные свертки взвешенных компонент векторных критериев низшего уровня служат компонентами векторных критериев высшего уровня. Скалярная свертка критериев, полученная на самом верхнем уровне, автоматически становится выражением для оценки эффективности всей иерархической системы.

Алгоритм решения задачи методом вложенных скалярных сверток представлен итерационной последовательностью операций взвешенной скалярной свертки векторных критериев каждого уровня иерархии снизу доверху с учетом векторов приоритета на основе выбранной схемы компромиссов

$$\{(y^{(j-1)}, p^{(j-1)}) \rightarrow y^{(j)}\}_{j \in [2, m]}, \quad (1)$$

а поиск оценки эффективности всей иерархической системы (альтернативы) отражен в задаче определения скалярной свертки критериев на верхнем уровне иерархии:

$$y^* = y^{(m)}.$$

При использовании рекуррентной формулы (1) важное значение имеет рациональный выбор схемы компромиссов. Для метода вложенных скалярных сверток такой схемой является нелинейная схема. Установлено, что без потери общности предпосылкой для ее применения

является то, что все частные критерии неотрицательны, подлежат минимизации и являются ограниченными:

$$0 \leq y_i \leq A_i, A = \{A_i\}_{i=1}^n,$$

где A – вектор ограничений.

Выражение для оценки k -го свойства альтернативы на j -м уровне иерархии с применением нелинейной схемы компромиссов имеет вид

$$y_k^{(j)}(p_k^{(j-1)}, y_{0k}^{(j-1)}) = \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}, k \in [1, n^{(j)}], \quad (2)$$

где критерии $(j-1)$ -го уровня нормированы, например, по формуле $y_0 = y/A$; $y_{0k}^{(j-1)}$ – компоненты нормированного вектора $y_0^{(j-1)}$, участвующие в оценке k -го свойства альтернативы на j -м уровне иерархии; $n_k^{(j-1)}$ – их количество; $n^{(j)}$ – число оцениваемых свойств на j -м уровне. Коэффициенты приоритета p – это формальные параметры, имеющие двойной физический смысл: с одной стороны, это коэффициенты приоритета, выражающие предпочтения ЛПР по отдельным критериям, с другой – коэффициенты содержательной регрессионной модели, построенной на основе концепции нелинейной схемы компромиссов.

Традиционно определение коэффициентов p на каждом уровне иерархии может быть выполнено путем оптимизации на симплексе с использованием дуального подхода или методом экспертных оценок по шкале баллов. В последнем случае ЛПР или эксперту необходимо оценить относительное влияние каждого частного критерия низшего уровня иерархии на общую оценку k -го свойства альтернативы на следующем уровне в заданных условиях и соотнести свою оценку с соответствующей точкой на шкале, характеризующейся числом f . Допускается выбирать точки между числами или приписывать несколько критериев одной точке на шкале.

Областью определения коэффициентов приоритета $p \in \Gamma_p$ является симплекс

$$\Gamma_p = \{p \mid p_i \geq 0, \sum_{i=1}^n p_i = 1\}. \quad (3)$$

Такая нормировка выполняется, если коэффициенты приоритета определить по формуле

$$p_{ik}^{(j-1)} = f_{ik} / \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} f_{ik}, k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m],$$

где $p_{ik}^{(j-1)}$ – i -я компонента вектора приоритета критерия на $(j-1)$ -м уровне иерархии при расчете оценки эффективности k -го свойства j -го уровня; f_{ik} – оценка значимости i -го свойства $(j-1)$ -го уровня для k -го свойства j -го уровня (определяется экспертами или ЛПР по шкале баллов).

В наиболее простом и достаточно часто встречающемся случае формулируется и решается многокритериальная задача без приоритетов, когда ЛПР полагает, что

все параметры значимости для всех свойств альтернативы одинаковы. В этом случае используется простейшая скалярная свертка по нелинейной схеме компромиссов в унифицированной форме [4].

Для того чтобы формула (2) отражала идею метода вложенных скалярных сверток в соответствии с рекуррентной формулой (1), полученное выражение необходимо нормировать, т. е. найти такой относительный критерий $y_{0k}^{(j-1)} \in [0, 1]$, чтобы он был минимизируемым, а его предельная величина была единицей. Однако рассмотренный выше способ нормализации критериев $y_0 = y/A$ годится только для нижнего (первого) уровня иерархии, где предельные значения критериев (ограничения) обычно физически обоснованны и известны. Для следующих уровней нужны другие подходы. Так, в [2] рассмотрена возможность расчета условий нормировки исходя из принципа солидарной ответственности критериев; в [3] предлагается использовать подход калибровочных вычислений нормирующего множителя. Однако эти методы довольно громоздки и не всегда физически прозрачны.

Конструкция нелинейной схемы компромиссов дает возможность нормировать свертку (2) не к максимальному (что в данном случае затруднительно), а к минимальному значению свертки критериев. Действительно, идеальными для минимизируемых критериев являются их нулевые значения. Положив в формуле (2)

$$y_{0ik}^{(j-1)} = 0, \forall i \in [1, n_k^{(j-1)}]$$

и учитывая нормировку (3), получим $y_{k \min}^{(j)} = 1$.

Нормировка к минимальному значению

$$\hat{y}_{0k}^{(j)} = \frac{y_{k \min}^{(j)}}{y_k^{(j)}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1}}$$

дает относительный, но максимизируемый критерий для j -го уровня. Действительно, при $y_{0ik}^{(j-1)} \rightarrow 1$ этот критерий обращается в ноль, а при $y_{0ik}^{(j-1)} \rightarrow 0$ стремится к единице. Чтобы получить требуемый минимизируемый относительный критерий, мы должны положить

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \hat{y}_{0k}^{(j)},$$

тогда окончательное выражение для рекуррентной формулы расчета аналитических оценок свойств альтернатив на всех уровнях иерархии приобретет вид

$$y_{0k}^{(j)} = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^{n_k^{(j-1)}} p_{ik}^{(j-1)} [1 - y_{0ik}^{(j-1)}]^{-1} \right\}^{-1}, \quad (4)$$

$$k \in [1, n^{(j)}], j \in [2, m].$$

Качественная (лингвистическая) оценка альтернативы получается при сопоставлении аналитической оценки с обращенной нормированной фундаментальной шкалой. Общее понятие о порядковой фундаментальной шкале описано в [4]. Интервальная нормированная обращенная шкала представлена в таблице:

Категория качества	Интервалы обращенной нормированной фундаментальной шкалы оценок y_0
Неприемлемое	1,0...0,7
Низкое	0,7...0,5
Хорошее	0,5...0,4
Удовлетворительное	0,4...0,2
Высокое	0,2...0,0

Любой вычислительный граф можно считать нейросетью. Учитывая это, добавление выражений (2), (3) и (4) к традиционной схеме обучения модифицированной нейросети [5] и использование качественной оценки альтернативы позволяет построить иерархическую нечеткую нейронную сеть, структура которой представлена на рисунке.

Экспериментальные результаты. Разработанный метод построения и функционирования иерархической нечеткой нейронной сети использовался для решения маркетинговой задачи принятия решений WCCI 2010–ORANGE (URL: http://www.causality.inf.ethz.ch/al_data/ORANGE.html). В результате экспериментов с помощью программного обеспечения R, пакета neuralnet и пакета MegaNeuro были созданы иерархические нечеткие нейросети. Количество правильно принятых ими решений – 76 %. Описание экспериментов в данной статье не рассматривается.

Таким образом, высокая точность разработанной интеллектуальной системы принятия решений подтверждена экспериментально. Показана целесообразность

использования иерархической нечеткой нейросети для моделирования систем поддержки принятия решений. Гибкость этих систем может быть обеспечена при применении алгоритма адаптивной настройки иерархической нечеткой нейросети.

Библиографические ссылки

1. Губанов В. А., Захаров В. В., Коваленко А. Н. Введение в системный анализ. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1988.
2. Теория выбора и принятия решений / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. М. : Наука, 1982.
3. Воронин А. Н., Зиятдинов Ю. К., Козлов А. И. Векторная оптимизация динамических систем. Киев : Техніка, 1999.
4. Saaty T. L. Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process. N. Y. : McGraw-Hill, 1990.
5. Энгель Е. А. Модифицированная нейросеть для обработки информации с использованием селекции существенных связей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2004.

Е. А. Engel

HIERARCHICAL MODEL OF DECISION-MAKING BASED ON FUZZY NEURAL NETWORKS FOR INFORMATION PROCESSING

Application of classical mathematical methods to solution of decision-making problems is difficult, intelligent systems are more effective for this purpose, intelligent system is the synthesis of adaptive and conventional mathematical algorithms. According to the vector approach, the problem of decision-making through the decomposition properties of alternatives is a hierarchical system of criteria. Here there is a problem of inverse transition to assessment and comparison of alternatives in general. This problem involves solution of problem composition of criteria for levels of hierarchy, which is implemented by a neural network. The problem is solved by method of nested scalar convolutions. The developed hierarchical fuzzy neural network is described.

Keywords: fuzzy neural network, multicriteria selection of alternatives, hierarchical systems.

© Энгель Е. А., 2011

С. А. Веселков, Е. Г. Лапухин, А. Г. Михайличенко, Д. А. Фомин, П. А. Баженов

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ ДЛЯ ПРОЕКТА ЗАГОРОДНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АЭРОКОСМИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АКАДЕМИКА М. Ф. РЕШЕТНЕВА

Рассчитано несколько новых перспективных оптических телескопов для загородной астрономической обсерватории СибГАУ для наблюдений переменных звезд, астероидов и комет, а также геостационарных объектов и космического мусора, которые проводятся в университете.

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

После года работы обсерватории СибГАУ определился круг научных интересов сотрудников: это фотометрия переменных звезд (в том числе поиск и открытие новых переменных), астрометрия и фотометрия малых тел Солнечной системы (астероиды, кометы) и околоземная астрономия (наблюдения ГСО и космического мусора).

Было выяснено, что заниматься подобными наблюдениями в городе чрезвычайно сложно, а под час и невозможно. Поэтому руководством университета было принято решение о строительстве загородной астрономической обсерватории СибГАУ в достаточно удаленном месте в отсутствие городской засветки и смога, где инструменты смогут работать на своем теоретическом пределе.

Универсальных телескопов не существует, поэтому под каждую задачу необходим свой специализированный инструмент. Более того, нужно рассчитывать оптическую систему в связке с приемником излучения, а также знать качество астроклимата в том месте, где будет установлен телескоп. Астроклимат средней полосы России [1] достаточно хорошо изучен. Качество астроклимата Сибири практически не отличается от равнинных областей средней полосы России. Примем размер турбулентного кружка изображения звезды в фокальной плоскости телескопа равным 2 угл. сек. дуги, как наиболее типичный для загородной обсерватории на территории России. В Москве, на территории обсерватории ГАИШ неоднократно наблюдалось качество атмосферы около 1 угл. сек. дуги.

Задачей настоящей работы являлся расчет общих характеристик нескольких систем оптических телескопов, обеспечивающих профессиональную работу загородной университетской обсерватории по выбранной тематике, исходя из требований к современным астрономическим наблюдениям. В настоящее время университетскими считаются телескопы со световым диаметром вплоть до 2-х метров.

Расчет оптических систем будем выполнять в оптимизирующей программе по расчету оптики CODE V. Кроме того, следует учитывать экономические аспекты. Простота изготовления, небольшие габариты и, как следствие, невысокая стоимость – вот ключевые параметры, которые следует учитывать.

Известно, что для хорошей астрометрии и фотометрии пятно рассеяния звезды должно покрывать по диа-

метру примерно 2,5–3 пикселя на ПЗС-матрице [2], чтобы с достаточной точностью определить центр «масс» пятна. Далее по тексту будут рассматриваться только наиболее популярные в настоящее время ПЗС-матрицы, используемые в качестве приемников излучения. При расчете оптической системы важно учитывать характеристики ПЗС-матрицы, применяемой в качестве светоприемника (ее линейные размеры и размер пикселя).

Как показывает современное состояние наблюдательной техники, для решения задач околоземной астрономии нужны телескопы со световым диаметром (от этого зависит светособирающая способность) 1–1,5 метра, которые позволяют получать уверенную астрометрию объектов около 10 см в поперечнике на околоземных орбитах вплоть до геостационарных. При наблюдениях астероидов и комет в настоящее время желательно получать на снимках объекты 23 зв. вел. (уверенная фотометрия до 21,5 зв. вел.). Это позволяет делать телескопы 1,5-метрового класса при экспозиции около 1 мин, так как объекты движутся, и длительные экспозиции невозможны. Изучение переменных звезд предполагает уверенную фотометрию объектов от 14 зв. вел. и слабее. Для этого нужны телескопы со световой апертурой от 20 см и более.

Нами было рассчитано около 100 оптических систем различной светосилы, из которых выбраны 3, отвечающие предъявленным требованиям, а именно:

- система Кассегрена со световым диаметром 1 метр с предфокальным трехлинзовым корректором и эквивалентным относительным отверстием $f/6.2$;
- система прямого фокуса диаметром 0,6 метра с предфокальным трехлинзовым корректором $f/2.8$;
- система прямого фокуса диаметром 0,2 метра с предфокальным трехлинзовым корректором $f/5$.

Схемы оптических систем приведены на рис. 1–3.

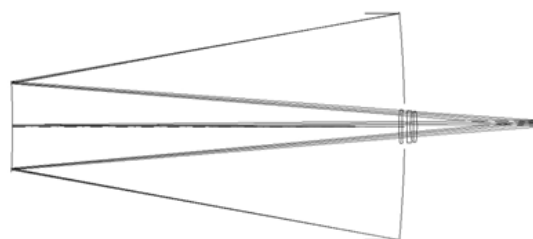


Рис. 1. Схема телескопа системы Кассегрена с диаметром главного зеркала 1 метр и предфокальным трехлинзовым корректором

Конструктивные параметры систем приведены в табл. 1–3.

Пятна рассеяния (точечные диаграммы) рассчитанных систем приведены на рис. 4–6.

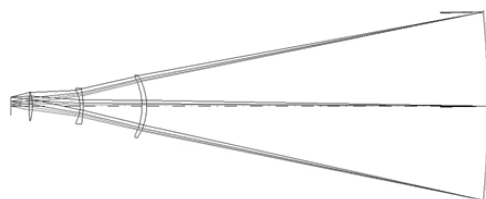


Рис. 2. Схема прямого фокуса с параболическим главным зеркалом диаметром 0,6 метра и предфокальным трехлинзовым корректором



Рис. 3. Схема прямого фокуса с параболическим главным зеркалом диаметром 0,2 метра и предфокальным трехлинзовым корректором

Таблица 1

Данные для телескопа системы Кассегрена с диаметром главного зеркала 1 м и трехлинзовым корректором $f/6.2$

Поверхность #	Имя Поверхности	Тип Поверхности	Y Радиус	Толщина	Стекло	Режим Преломления	Y Апертура
Предмет		Сфера	Бесконечность	Бесконечность		Преломлени	0
Диафрагма		Коническая	-5565.5295 П	-1730.1077 П		Отражение	1000.0000 0
2		Коническая	-3864.1934 П	1705.5595 П		Отражение	394.8826 0
3		Сфера	568.8719 П	15.0000	'K8'	Преломлени	142.7469 0
4		Сфера	2923.0715 П	20.8822 П		Преломлени	140.6698 0
5		Сфера	7568.1344 П	15.0000	'K8'	Преломлени	135.5154 0
6		Сфера	343.6917 П	13.6469 П		Преломлени	131.8780 0
7		Сфера	-3044.1652 П	15.0000	'K8'	Преломлени	131.4798 0
8		Сфера	-664.7912 П	540.0000		Преломлени	131.1639 0
Изображение		Сфера	Бесконечность	0.0688		Преломлени	54.1451 0

Таблица 2

Данные для оптической системы прямого фокуса с диаметром главного параболического зеркала 0,6 м и трехлинзовым корректором $f/2.8$

Поверхность #	Имя Поверхности	Тип Поверхности	Y Радиус	Толщина	Стекло	Режим Преломления	Y Апертура
Предмет		Сфера	Бесконечность	Бесконечность		Преломлени	0
Диафрагма		Коническая	-3000.0000	-1091.6650 П		Отражение	600.0000 0
2		Сфера	-184.3956 П	-15.0000	'K8'	Преломлени	193.7175 0
3		Сфера	-202.2508 П	-188.6190 П		Преломлени	187.0070 0
4		Сфера	-331.8848 П	-10.0000	'K8'	Преломлени	109.9863 0
5		Сфера	-110.4895 П	-152.3015 П		Преломлени	102.5508 0
6		Сфера	-162.9640 П	-10.0000	'K8'	Преломлени	87.5655 0
7		Сфера	714.6068 П	-58.0263 П		Преломлени	86.8783 0
Изображение		Сфера	Бесконечность	-0.3707		Преломлени	58.7352 0

Таблица 3

Данные для оптической системы прямого фокуса с диаметром главного параболического зеркала 0,2 м и трехлинзовым корректором $f/5$

Поверхность #	Имя Поверхности	Тип Поверхности	Y Радиус	Толщина	Стекло	Режим Преломления	Y Апертура
Предмет		Сфера	Бесконечность	Бесконечность		Преломление	0
Диафрагма		Коническая	-1780.0000	-738.0000		Отражение	200.0000 0
2		Сфера	-64.1216 П	-5.0000	'K8'	Преломление	56.3389 0
3		Сфера	-76.8729 П	-49.9624 П		Преломление	54.7536 0
4		Сфера	-122.6020 П	-6.0000	'K8'	Преломление	40.9626 0
5		Сфера	-42.8292 П	-73.7664 П		Преломление	38.2374 0
6		Сфера	-94.6617 П	-6.0000	'K8'	Преломление	40.5529 0
7		Сфера	200.0000	-25.0000		Преломление	40.1975 0
Изображение		Сфера	Бесконечность	-0.0467		Преломление	31.8015 0

В таблицах приведены диаметры, радиусы и толщины (конструктивные элементы) линз и зеркал. Телескоп системы Кассегрена диаметром 1 метр имеет относительное отверстие $f/6.2$ (квадраты эксцентриситетов зеркал равны $e^2 = 1$ и $e^2 = 6,1373$, соответственно) и угловое поле предметов $2\omega = 0,5^\circ$. Соответствующее ему линейное поле изображений составляет 54 мм. Расчет выполнен для широко используемой ПЗС матрицы фирмы FLI – ML09000, с размером чипа 36×36 мм, что по диагонали составляет около 52 мм.

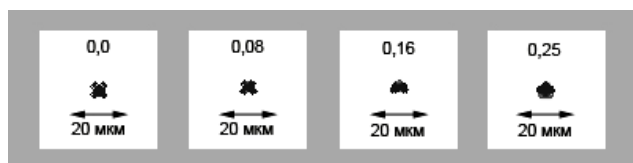


Рис. 4. Структура пятна рассеяния оптической системы со световым диаметром 1 м, $f/6.2$ в зависимости от угла поля (отрезок длиной 20 мкм задает масштаб изображения)

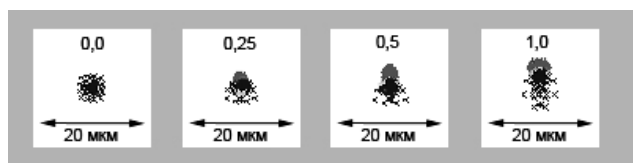


Рис. 5. Структура пятна рассеяния оптической системы со световым диаметром 0,6 м, $f/2.8$ в зависимости от угла поля (отрезок длиной 20 мкм задает масштаб изображения)



Рис. 6. Структура пятна рассеяния оптической системы со световым диаметром 0,2 м, $f/5.0$ в зависимости от угла поля (отрезок длиной 20 мкм задает масштаб изображения)

Диаграммы энергетического анализа приведены на рис. 7–9.

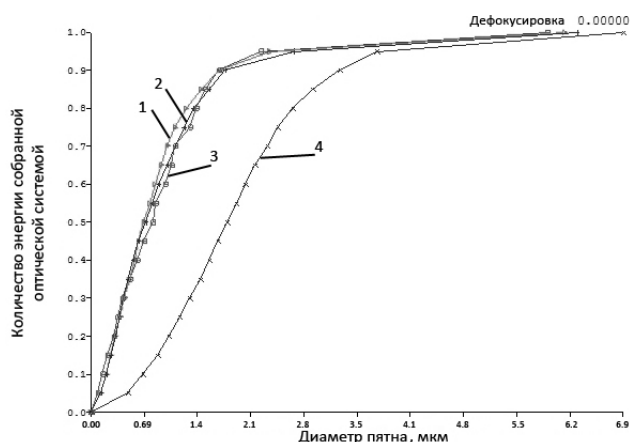


Рис. 7. Концентрация энергии в пятне рассеяния для различных углов поля; оптическая система диаметром 1,0 м, $f/6.2$ (кривая 1 – в центре поля; кривые 2, 3, 4 – на $0,08^\circ$, $0,16^\circ$ и $0,25^\circ$ от центра поля, соответственно)

Телескоп содержит трехлинзовый корректор поля со сферическими линзами, который слабо влияет на относительное отверстие системы [3] и может быть изготовлен из стекла одной марки (К8). Система свободна от аберраций на угловом поле предметов $2\omega = 0,5^\circ$ и диапазона длин волн $0,4–0,85$ мкм. Пятна рассеяния представлены на различных расстояниях от оси в градусах на рис. 4 (масштабный отрезок на рис. 4–6 равен 20 мкм). Размер пятен рассеяния не превышает 7 мкм по всему полю. Таким образом, качество изображения определяется только качеством (разрешающей способностью) атмосферы, так как диаметр дифракционного кружка для длины волны 0,5 мкм равен 7,5 мкм. Линзы корректора сферические. Более 90 % энергии попадает в пятно менее 3 мкм в диаметре и только все 100 % образуют пятно в 7 мкм (рис. 7).

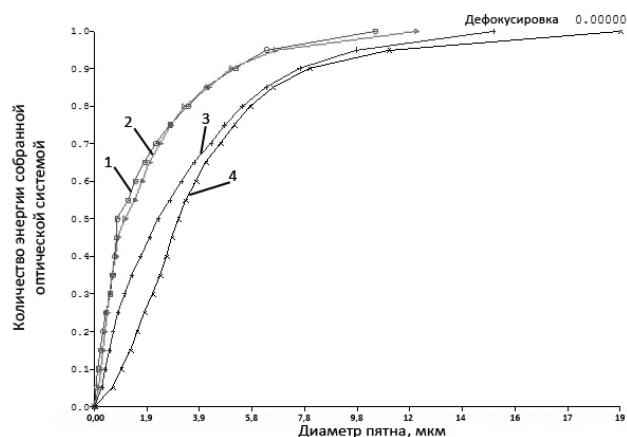


Рис. 8. Концентрация энергии в пятне рассеяния для различных углов поля; оптическая система диаметром 0,6 м, $f/2.8$ (кривая 1 – в центре поля, кривые 2, 3, 4 – на $0,25^\circ$, $0,5^\circ$ и $1,0^\circ$ – от центра поля, соответственно)

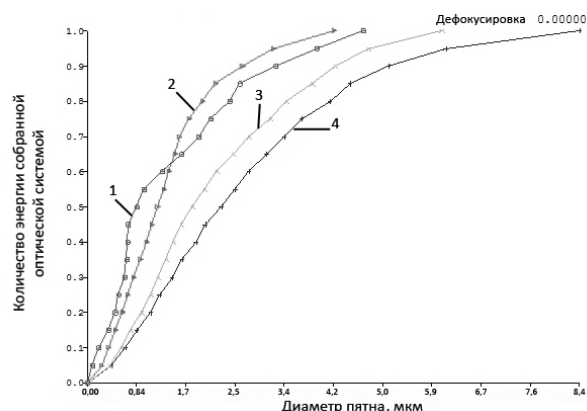


Рис. 9. Концентрация энергии в пятне рассеяния для различных углов поля; оптическая система диаметром 0,2 м, $f/6.2$ (кривая 1 – в центре поля; кривые 2, 3, 4 – на $0,3^\circ$, $0,6^\circ$ и $0,9^\circ$ – от центра поля, соответственно)

Принципиально другую схему имеет следующая оптическая система, которая изображена на рис. 2. Параболическое зеркало и трехлинзовый корректор, установленный вблизи фокальной плоскости, образуют изображение практически свободное от всех аберраций на поле более 2° . Это корректор Винна [4], который вместе с параболическим зеркалом образует простую, но качествен-

ную оптическую систему высокой светосилы. В системе исправлены аберрации на угловом поле изображений $2\omega - 2^\circ$ и диапазона длин волн 0,4–0,7 мкм. Линзы корректора состоят из одного сорта стекла (К8). Диаметр параболического зеркала – 0,6 м, относительное отверстие – $f/2.8$.

Изображения пятен рассеяния, которые имеют размер на оси около 5 мкм и на краю поля примерно 18 мкм, представлены на рис. 5. При фокусном расстоянии системы 1680 мм и линейном поле качественных изображений 58 мм (около 2°) масштаб изображения составляет 1 угл. сек. 8,2 мкм. Значит, при типичном разрешении атмосферы в 2 угл. сек., размер турбулентного пятна будет примерно равен 16,5 мкм, что хорошо согласуется с размером пятен рассеяния, полученных нами при численном исследовании оптической системы. Проведенный энергетический анализ системы показал, что более 90 % энергии на оси концентрируется в кружке менее 4 мкм, а на краю поля в кружке около 9 мкм (рис. 8).

Третья оптическая система диаметром 0,2 м с фокусным расстоянием 1000 мм и относительным отверстием $f/5$ представлена на рис. 3. Система свободна от аберраций на угловом поле $2\omega - 1,8^\circ$ и диапазона длин волн 0,4–0,7 мкм. Линейное исправленное поле изображений составляет 31 мм. На рис. 6 приведены пятна рассеяния точечного источника в фокальной плоскости. Их размеры составляют от 5 мкм на оси, до 7–8 мкм на краю поля. Энергетический анализ показывает, что 90 % энергии на оси концентрируется в кружке диаметром около 2 мкм, а на краю поля – в кружке 5,5 мкм.

Максимальный световой диаметр телескопа был принят равным 1 м из экономических соображений. Тем не менее, рассчитанные телескопы позволяют решать поставленные задачи в полной мере с учетом возможностей загородной обсерватории. Например телескоп Кассегрена имеет угловое поле $0,5 \times 0,5^\circ$ на матрице 36×36 мм и одинаково успешно может использоваться для исследования астероидов, комет и переменных звезд, а также для наблюдений ГСО и космического мусора.

При разрешении атмосферы в 2 угл. сек. на ПЗС-матрице (с размером пикселя 12×12 мкм) образуется пятно размером 60 мкм, которое охватывает в среднем пять пикселей. Таким образом, имеется запас на случай улучшения качества атмосферы до 1 угл. сек. дуги.

Компактная, светосильная система ($f/2.8$) диаметром 0,6 м не очень требовательна к разрешению атмосферы

и предназначена для поисковых и обзорных наблюдений. Тем не менее, обладая масштабом изображения 1 угл. сек. на пиксель, она позволяет проводить качественную астрометрию небесных объектов, особенно быстро движущихся. При использовании ПЗС ML16803-65 с размером пикселя 9 мкм получим условие – два пикселя в пятне рассеяния. Это несколько не соответствует нашей концепции, но при этом позволяет ослабить требование к качеству фокусировки при условии: три пикселя на пятно для качественной астрометрии.

Третья система, со световым диаметром 0,2 м предназначена для экспедиционных астрономических работ. Может быть рекомендована и для самостоятельного изготовления опытными любителями астрономии.

Численное исследование представленных систем показало хорошее исправление аберраций для заданных углов, довольно большой спектральный диапазон, в котором они могут работать, и небольшую асферичность [5] зеркал, способствующую качественному изготовлению оптики. Кроме того, следует отметить небольшие габариты труб телескопов, что ведет к снижению стоимости телескопа и его павильона. Это хорошо согласуется с определением – телескоп университетского класса в России.

Представленные в работе оптические системы при условии оснащения ими астрономической обсерватории университета позволяют поднять уровень космических исследований в СибГАУ на современный профессиональный уровень.

Авторы выражают благодарность С. В. Карпову за обсуждение работы и полезные замечания.

Библиографические ссылки

1. Щеглов П. В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1980.
2. Миронов А. В. Прецизионная фотометрия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1211924>.
3. Wynne C. G. Field correctors for large telescopes // Appl. Opt. 1965. V. 4. № 9. P. 1185–1195.
4. Wynne C. G. Field correctors for astronomical telescopes // Progress in Optics / Ed E. Wolf. 1972. Vol. 10. P. 137–164.
5. Максудов Д. Д. Изготовление и исследование астрономической оптики. М.: Наука, 1984.

S. A. Veselkov, E. G. Lapukhin, A. G. Mihailichenko, D. A. Fomin, P. A. Bagenov

PROSPECTIVE TELESCOPES FOR SUBURBAN ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF SIBERIAN STATE AEROSPACE UNIVERSITY NAMED AFTER ACADEMICIAN M. F. RESHETNEV

We have calculated several new optical systems of telescopes for observations of variable stars, asteroids and comets, as well as geostationary objects and space debris that are currently being performed at the university and are planned to be conducted at the suburban astronomical observatory of SibSAU in the future.

Keywords: optical system, aberrational calculation, astronomical observations.

Ю. М. Ермошкин, В. М. Урусов

КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ НА ГЕОСТАЦИОНАРНОМ КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ

При проектировании новых изделий, особенно долгоживущих геостационарных космических аппаратах, возникает задача рационального размещения электрореактивных двигателей коррекции орбиты. Рассмотрены возможные критерии оптимальности при решении такой задачи и результаты их применения.

Ключевые слова: космический аппарат, двигатель, двигательная установка, топливо, рабочее тело.

За последние два десятка лет в отечественных и зарубежных КА все более широко применяются электрореактивные двигатели (ЭРД) [1]. Задача размещения ЭРД на борту возникает каждый раз при разработке нового изделия. Ее сложность и уникальность для каждого типа КА обусловлена сложностью компоновки спутника, наличием в зоне действия струй двигателей крупногабаритных элементов конструкции. Возможности формализации процесса компоновки двигателей на КА весьма ограничены, поэтому каждый раз задачу приходится решать практически заново. Однако на основе опыта разработки ряда изделий можно сформулировать некие общие правила. Задачей настоящей работы является рассмотрение возможных критериев оптимальности размещения ЭРД коррекции орбиты на борту геостационарного спутника и оценка результатов их использования применительно к компоновкам конкретных КА.

Задача оптимального размещения двигателей коррекции орбиты геостационарного спутника. Прежде всего, необходимо определить целевую функцию двигательной подсистемы коррекции. Таковых в принципе может быть две: «чистая» задача коррекции орбиты и комбинированная задача, т. е. коррекция орбиты, совмещенная с созданием управляющих моментов для разгрузки маховиков. Ограничимся рассмотрением «чистой» задачи, т. е. задачи только коррекции орбиты геостационарного КА в направлениях «север–юг» и «запад–восток». Следствием такой постановки являются необходимые условия:

– линия действия тяги каждого двигателя проходит через центр масс КА;

– имеется отдельная двигательная установка ориентации для разгрузки маховиков, обеспечения ориентации КА в начальных режимах и режимах обеспечения живучести.

С учетом приведенных условий задача оптимального размещения двигателей коррекции сводится к оптимизации геометрического фактора, т. е. к определению углов установки двигателей и точек их размещения на поверхности КА по некоторому критерию.

Рассмотрим возможные критерии оптимальности размещения двигателей коррекции.

При изменении только геометрического фактора размещения на КА двигателей коррекции изменяется:

– эффективность приложения тяги по осям «север–юг» и «запад–восток», т. е. по номинальным направлениям выдачи тяги. Эффективность, понимаемая как абсолютная величина тяги в номинальном направлении, падает об-

ратно пропорционально косинусам углов отклонения осей двигателей от указанных номинальных направлений;

– силовое взаимодействие струй двигателей с элементами конструкции КА.

Первый эффект можно характеризовать количеством массой рабочего тела, необходимой для выработки заданного суммарного импульса. Очевидно, что эта масса будет минимальной при нулевом отклонении осей двигателей от номинальных направлений выдачи тяги.

Второй эффект – количественно дополнительным запасом топлива ДУ ориентации на компенсацию возмущающих моментов, возникающих от взаимодействия струй двигателей с конструкцией КА.

Очевидно, что наилучшим размещением двигателей коррекции на изделии в данной постановке задачи можно понимать такое размещение, при котором потери в тяге минимальны, и возмущающие моменты от взаимодействия струй двигателей с конструкцией КА также минимальны. Количественно наилучшее размещение можно характеризовать минимальными запасами рабочего тела ДУ коррекции для выработки заданного суммарного импульса и минимальными запасами топлива ДУ ориентации на компенсацию возмущающих моментов от взаимодействия струй двигателей коррекции с конструкцией КА.

С практической точки зрения было бы желательно иметь методику, позволяющую достаточно легко определять «цену» (в килограммах) того или иного варианта размещения двигателей коррекции.

Оценка изменения массы рабочего тела ДУ коррекции при изменении геометрического фактора размещения двигателей. «Цена» варианта размещения по параметру эффективности приложения тяги, очевидно, определяется величиной дополнительного запаса рабочего тела ДУ коррекции при отвороте осей двигателей от номинальных направлений:

$$\Delta M = \frac{I_{\Sigma H}}{I_{уд} \cos \alpha} - \frac{I_{\Sigma H}}{I_{уд}} + \frac{I_{\Sigma Д}}{I_{уд} \cos \beta} - \frac{I_{\Sigma Д}}{I_{уд}} = \frac{I_{\Sigma H}}{I_{уд}} \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) + \frac{I_{\Sigma Д}}{I_{уд}} \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right), \quad (1)$$

где $I_{\Sigma H}$ – суммарный импульс ДУ для коррекции наклона; $I_{\Sigma Д}$ – суммарный импульс для коррекции долготы; $I_{уд}$ – удельный импульс двигателя; α – угол отклонения двигателей коррекции наклона от направления «север–юг»; β – угол отклонения двигателей коррекции долготы от направления «запад–восток».

Формула (1) является простейшей. Предполагается, что для коррекции наклона и долготы используется один тип двигателя, углы отклонений двигателей коррекции наклона от оси «север–юг» одинаковы, то же имеет место и для двигателей коррекции долготы.

Отметим, что в частном случае двигатели коррекции наклона могут быть отклонены в сторону оси «запад–восток». Это дает возможность при осуществлении коррекции наклона одновременно выдавать импульс тяги вдоль вектора орбитальной скорости. С учетом того, что затраты суммарного импульса на коррекцию наклона обычно составляют около 80 % от общего запаса суммарного импульса ДУ коррекции, в принципе, даже при достаточно малых отклонениях осей двигателей на направление «запад–восток», можно обеспечить выработку всего требуемого импульса по долготе. Необходимый угол отклонения при этом, очевидно, будет определяться соотношением требуемых суммарных импульсов для коррекции наклона и долготы:

$$\alpha = \arctg \frac{I_{\Sigma Д}}{I_{\Sigma Н}}. \quad (2)$$

Так, для изделия типа «Экспресс-АМ» соотношение требуемых суммарных импульсов составляет $\frac{I_{\Sigma Д}}{I_{\Sigma Н}} = 0,217$. При этом угол α принимает значение $\alpha \sim 12,3^\circ$. Характерно, что эффективность выдачи тяги по направлению «север–юг» при таком отклонении двигателей практически не уменьшается, так как $\cos 12,3^\circ \approx 0,98$.

Однако полностью отказаться от двигателей коррекции долготы нельзя, так как долготная составляющая от двигателей коррекции наклона недостаточна для интенсивных маневров. Для проведения коррекций начального приведения в рабочую точку, перевода в другую точку, коррекции эксцентриситета, увода на орбиту захоронения необходимо использовать долготные двигатели с их номинальной тягой.

Оценка изменения массы топлива ДУ ориентации при изменении геометрического фактора размещения двигателей коррекции. Поскольку избежать взаимодействия струй двигателей с элементами конструкции КА в принципе невозможно, возмущающие моменты, возникающие вследствие такого взаимодействия, всегда будут существовать.

Очевидно, что не существует простой зависимости между геометрическим фактором размещения двигателей коррекции и величиной запаса топлива на компенсацию возмущающих моментов, так как эти возмущающие моменты зависят от конфигурации КА, от свойств поверхностей, на которые воздействует реактивная струя и методики использования двигателей. Для каждого размещения двигателей и проектного решения по компоновке КА можно сделать оценки возмущающих моментов и приблизительно оценить запасы топлива на их компенсацию.

Рассмотрим возможную методику оценки затрат топлива ДУ ориентации на компенсацию возмущающих моментов от двигателей коррекции.

Затраты суммарного импульса двигательной установки ориентации и стабилизации (ДУОС) на компенсацию возмущающих моментов от двигателей коррекции про-

порциональны затратам суммарного импульса на коррекцию долготы и наклона:

$$I_{\Sigma ДУОС} = k_1 I_{\Sigma Д} + k_2 I_{\Sigma Н}, \quad (3)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты; $I_{\Sigma Д}$ – суммарный импульс ДУ для коррекции долготы; $I_{\Sigma Н}$ – суммарный импульс для коррекции наклона (за срок службы КА).

Наиболее трудоемкой задачей является определение указанных выше коэффициентов. Определим систему координат XYZ с началом в центре масс КА (рис. 1): положительное направление оси Y – по орбитальной скорости, X – по радиусу-вектору (от Земли), Z – по правой тройке (на север). Коэффициенты можно определить следующим образом:

$$k_1 = \frac{1}{P_{ДК}} \left(\frac{M_{ZД}}{L_Z} + k_{XY} M_{XY} \right), \quad (4)$$

где $P_{ДК}$ – тяга двигателей коррекции; $M_{ZД}$ – фактическая (по опыту прототипа) или расчетная величина возмущающего момента по оси Z от работы двигателей коррекции долготы (в случае изменения на суточном интервале берется средняя величина момента); L_Z – эффективное плечо двигателя ориентации, создающего управляющий момент по оси Z; M_{XY} – фактический (по опыту прототипа) или расчетный возмущающий момент в плоскости XY от работы двигателей коррекции долготы. Коэффициент распределения компенсирующих управляющих моментов по осям X, Y находится по выражению

$$k_{XY} = \frac{k_X}{L_X k_{ex}} + \frac{1 - k_X}{L_Y k_{ey}},$$

где k_{ex}, k_{ey} – коэффициенты эффективности разгрузок маховиков по осям X, Y, зависящие от методики проведения разгрузок; L_X – эффективное плечо двигателя ориентации, создающего управляющий момент по оси X; L_Y – эффективное плечо двигателя ориентации, создающего управляющий момент по оси Y

$$k_2 = \frac{1}{P_{ДК}} \left(\frac{M_{Z_{кн.ср}}}{L_Z} + M_{XY_{кн.ср}} k_{XY} \right), \quad (5)$$

где $M_{Z_{кн.ср}}$ – средняя величина возмущающего момента по оси Z от двигателей коррекции наклона; $M_{XY_{кн.ср}}$ – средняя величина возмущающего момента в плоскости XY от двигателей коррекции наклона. Осреднение величины возмущающего момента (фактического, по опыту прототипа, или расчетного) производится на выбранном для проведения коррекций интервале в течение суток.

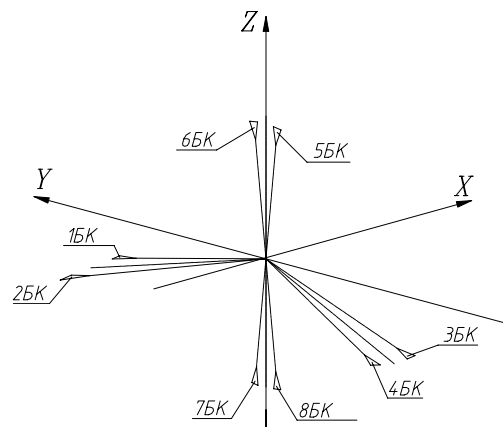


Рис. 1. Типовое размещение двигателей коррекции на КА

Определив по формуле (3) запас суммарного импульса ДУОС на компенсацию возмущающих моментов, можно оценить требуемый запас топлива для этой цели:

$$M_{\text{топл}} = \frac{I_{\Sigma \text{ДУОС}}}{I_{\text{удДУОС}}}. \quad (6)$$

Определение «цены» конкретного варианта компоновки двигателей на КА. Зная проектный облик КА и величины возмущающих моментов от работы двигателей коррекции, можно по формулам (1) и (6) определить «цену» (в килограммах) данного проектного варианта размещения двигателей:

$$M = \Delta M_{\text{РТ ДУК}} + M_{\text{топл ДУОС}}, \quad (7)$$

где $\Delta M_{\text{РТ ДУК}}$ – изменение массы РТ двигательной установки коррекции (ДУК) данного варианта размещения двигателей коррекции по сравнению с «идеальным» вариантом, когда оси двигателей направлены вдоль направлений «север–юг» или «запад–восток»; $M_{\text{топл ДУОС}}$ – запас топлива ДУОС на компенсацию возмущающих моментов, возникающих при работе двигателей коррекции в данном варианте размещения.

Отметим, что при данном подходе оценивается только изменяемая часть запаса рабочего тела ДУК и часть топлива ДУОС, необходимая для компенсации возмущающих моментов от работы двигателей коррекции. При этом предполагается, что количество конструктивных элементов двигательной подсистемы (блоков коррекции, баков, СПУ, блоков подачи) остается неизменным. Назовем для краткости данный подход «оценкой по топливу». Он может быть применен в случае, если состав двигательной подсистемы определен из других соображений и не подлежит пересмотру.

Представляет интерес величина вклада в «цену» того или иного варианта компоновки КА массы дополнительного рабочего тела ДУК и топлива ДУОС, т. е. слагаемых в формуле (7). Так, для КА «Экспресс-АМ» оценки показывают, что доля массы топлива ДУ ориентации на компенсацию возмущающих моментов от двигателей коррекции составляет более 88 %. Иными словами, высокая тяговая эффективность двигателей коррекции на КА «Экспресс-АМ» получена за счет значительных затрат массы топлива ДУОС на компенсацию возмущающих моментов.

Рассмотрение возможных вариантов компоновки двигателей коррекции на КА типа «Экспресс-АМ», «SESAT». Представляет интерес вопрос о том, можно ли было добиться лучшей эффективности двигательной подсистемы, изменяя геометрический фактор размещения двигателей, например, применительно к изделиям типа «Экспресс-АМ», «SESAT». Проведем для этих изделий «оценку по топливу», изменяя угол установки двигателей коррекции наклонения в плоскости YOZ с исходных ~ 5° до

30° с шагом 5°. Для каждого угла рассчитаем с помощью программного пакета Turbo-Design 4.0 [2], разработанного в МАИ, средние возмущающие моменты в области их минимальной величины на суточном интервале, а затем – массу топлива ДУ ориентации на их компенсацию и «добавку» рабочего тела ДУ коррекции для каждого угла установки двигателей по формуле (7).

Результаты расчетов представлены в табл. 1 и на рис. 2. Как следует из таблицы и графиков, при отвороте двигателей коррекции наклонения от направления «север–юг» (ось Z) затраты топлива ДУ ориентации на компенсацию возмущающих моментов уменьшаются вследствие уменьшения силового воздействия струй двигателей на панели солнечных батарей, а затраты рабочего тела ДУ коррекции растут вследствие снижения эффективности приложения тяги. Оптимум достигается при угле установки двигателей около 25°. При таком угле преимущество по сравнению с исходным (базовым) вариантом за счет существенного снижения затрат топлива ДУ ориентации составляет около 13,5 кг. Полученный результат отражает тот факт, что для конкретной компоновки изделия может существовать наилучшее (по определенному критерию) размещение двигателей коррекции.

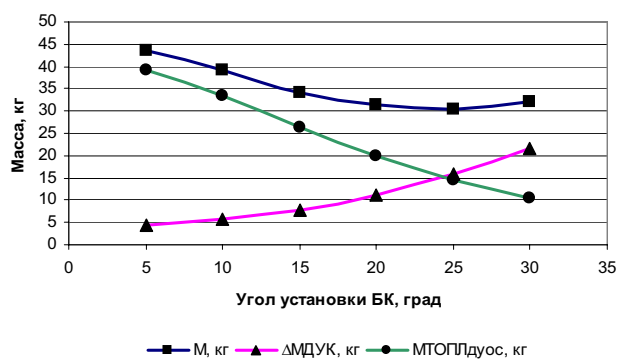


Рис. 2. Расчетное изменение массы рабочего тела ДУ коррекции и топлива ДУ ориентации на компенсацию возмущающих моментов в зависимости от угла установки двигателей коррекции наклонения для изделий типа «Экспресс-АМ», «SESAT»

Формирование «цены» варианта размещения двигателей коррекции с учетом массы и количества конструктивных элементов двигательной подсистемы. Рассмотренный выше подход («оценка по топливу») подразумевает неизменность количества двигателей и их функционального разграничения по решаемым задачам (коррекция долготы и коррекция наклонения). Однако, если расположить двигатели коррекции наклонения таким образом, чтобы их составляющая тяги на ось «запад–восток» была достаточно ощутимой, например, под углами более 30°, то одни и те же двигатели можно использовать

Таблица 1

Угол установки БК 5°...8°	ΔMДУК, кг	Mтопл ДУОС, кг	M, кг
5	4,31	39,26	43,57
10	5,64	33,51	39,15
15	7,93	26,36	34,29
20	11,26	20,04	31,30
25	15,77	14,63	30,40
30	21,68	10,33	32,00

как для коррекции долготы, так и для коррекции наклона без уменьшения степени резервирования. В этом случае, в «цену» конкретного варианта компоновки двигателей было бы целесообразно включить не только массу топлива и рабочего тела, но и массу конструктивных элементов ДУ. Назовем условно такой подход «оценка по суммарной массе». Рассмотрим ниже подход к оптимизации размещения двигателей коррекции на объекте с учетом массы блоков коррекции и СПУ (системы преобразования и управления).

Для определенности сделаем следующие предположения:

1) все двигатели участвуют в выдаче тяги и по долготе и по наклонению, причем вырабатываемый суммарный импульс по наклонению и долготе равномерно распределен по двигателям;

2) баки в пределах своей вместимости допускают варьирование заправки, поэтому в первом приближении количество баков в системе можно принять неизменным и на этом основании исключить массу баков из рассмотрения.

Массу рабочего тела ДУ коррекции, необходимую для решения баллистической задачи (без учета незабора, утечек и т. д.), очевидно, можно оценить по формуле

$$M_{\text{РТДУК}} = \frac{I_{\Sigma\text{Н}}}{I_{\text{уд}} n \cos \alpha_1} + \frac{I_{\Sigma\text{Н}}}{I_{\text{уд}} n \cos \alpha_2} + \dots + \frac{I_{\Sigma\text{Н}}}{I_{\text{уд}} n \cos \alpha_n} + \frac{I_{\Sigma\text{Д}}}{I_{\text{уд}} n \cos \beta_1} + \frac{I_{\Sigma\text{Д}}}{I_{\text{уд}} n \cos \beta_2} + \dots + \frac{I_{\Sigma\text{Д}}}{I_{\text{уд}} n \cos \beta_n} = \frac{I_{\Sigma\text{Н}}}{I_{\text{уд}} n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\cos \alpha_i} \right) + \frac{I_{\Sigma\text{Д}}}{I_{\text{уд}} n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\cos \beta_i} \right), \quad (8)$$

где n – общее количество двигателей (блоков коррекции); α_i – углы осей двигателей относительно оси «север–юг» (OZ); β_i – углы осей двигателей относительно оси «запад–восток» (OY); $\alpha_i < 90^\circ$, $\beta_i < 90^\circ$. Отметим, что произвольные индивидуальные углы α_i и β_i в общем случае не дополняют друг друга до прямого или кратного ему углов, так как двигатели могут быть расположены вне плоскости ZOY.

С учетом сделанных предположений изменяемая часть массы ДУ коррекции будет определена выражением

$$\Delta M_{\text{ДУК}} = M_{\text{СПУ}} + nM_{\text{БК}} + M_{\text{РТДУК}}, \quad (9)$$

где $M_{\text{БК}}$ – масса блока коррекции; $M_{\text{СПУ}}$ – масса СПУ. Остальные составляющие определены выше.

Для полноты оценки для каждого варианта необходимо, как и ранее, оценить по изложенной выше методике (по формулам (3), (6)) затраты массы топлива ДУ ориентации для компенсации возмущающих моментов. Далее можно определить суммарную массу:

$$M = M_{\text{СПУ}} + nM_{\text{БК}} + M_{\text{РТДУК}} + M_{\text{топлДУОС}}. \quad (10)$$

По формуле (10) можно сравнивать между собой варианты со специализацией двигателей коррекции по назначению и варианты с универсальными двигателями. Очевидно, что наилучшим вариантом будет вариант с наименьшей массой изменяемой части ДУК и топлива ДУ ориентации, необходимого для компенсации возмущающих моментов.

Для примера определим «цену» варианта размещения 4-х универсальных двигателей коррекции в плоскости YOZ под углами 20° , 30° , 45° (рис. 3) к оси Z и сравним с исходным вариантом размещения 8-и специализированных двигателей на изделии «Экспресс-АМ» (использованные в расчетах средние возмущающие моменты для исходного варианта взяты из экспериментальных данных). Углы более 45° рассматривать не имеет смысла из-за больших потерь тяги двигателей коррекции наклона. Массу блока коррекции примем 5 кг, массу СПУ для управления 8-ю двигателями – $2 \cdot 20 = 40$ кг, для управления 4-я двигателями – $1 \cdot 20 = 20$ кг, остальные исходные данные для расчета идентичны изложенным выше.

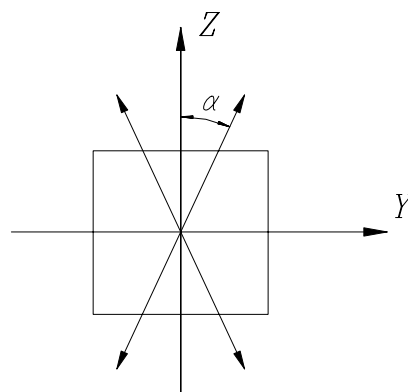


Рис. 3. Схема размещения двигателей с совмещением задач коррекции наклона и долготы

Результаты расчетов представлены в табл. 2 и на рис. 4.

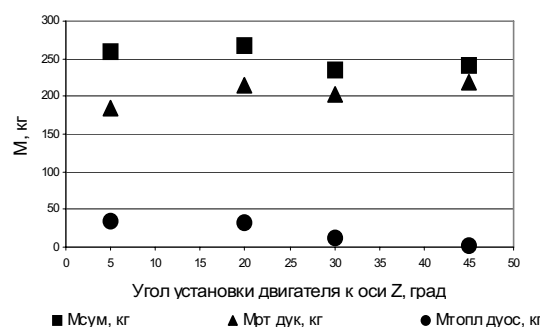


Рис. 4. Зависимость суммарной массы от угла установки двигателей

Таблица 2

Вариант компоновки	$nM_{\text{БК}}$, кг	$M_{\text{СПУ}}$, кг	$M_{\text{РТДУК}}$, кг	$M_{\text{топл ДУОС}}$, кг (на компенс. В. М.)	M_{Σ} , кг
Исходный (Э-АМ, 8 БК, угол установки двиг. корр. накл. к оси Z – $5,75^\circ$)	40	40	144,5	33,9	258,4
4 БК, $\alpha = 20^\circ$ $\beta = 70^\circ$	20	20	195,6	32,6	268,2
4 БК, $\alpha = 30^\circ$ $\beta = 60^\circ$	20	20	182,9	12,9	235,8
4 БК, $\alpha = 45^\circ$ $\beta = 45^\circ$	20	20	198,2	3,0	241,2

При малых углах отклонения двигателей от оси Z эффективность приложения тяги по долготе низка, а уменьшение затрат топлива ДУОС на компенсацию моментов невелико, поэтому суммарная масса увеличивается по сравнению даже с исходным вариантом (рис. 4). При увеличении угла отклонения до 30° эффективность тяги по наклонению (по оси Z) остается еще достаточной (87 % от идеальной), а эффективность тяги по долготе становится уже приемлемой (50 %), затраты топлива на компенсацию моментов заметно уменьшаются. При дальнейшем увеличении угла отклонения до 45° эффективность приложения тяги по наклонению падает до 70 %, и этот фактор перевешивает повышение эффективности тяги по долготе и уменьшение запаса топлива на компенсацию возмущающих моментов. Таким образом, при компоновке с «универсальным» назначением двигателей применительно к изделию типа «Экспресс-АМ», оптимальным является размещение двигателей в плоскости YOZ под углом примерно 30° к оси Z . При таком размещении наблюдается наилучший баланс между эффективностью тяги по наклонению и долготе, относительно невелики затраты топлива на компенсацию возмущающих моментов. За счет сокращения количества двигателей и массы СПУ достигается заметное преимущество (22–23 кг) в сравнении с базовым вариантом с 8-ю специализированными двигателями. С учетом уменьшения мас-

сы кабелей (~18 кг) и конструктивных элементов для размещения блоков коррекции на корпусе КА (~7 кг) преимущество может достигать ощутимой величины 47–48 кг.

Предложены и рассмотрены критерии эффективности размещения двигателей коррекции орбиты на геостационарных КА (оценка «по топливу», оценка «по суммарной массе»). Указанные критерии весьма наглядны и позволяют с приемлемыми трудозатратами сравнивать между собой различные варианты компоновки как для случая специализации двигателей по выполняемой задаче, так для случая универсального назначения двигателей. Получаемое с помощью оптимизации по предложенным критериям преимущество в массе, по сравнению с базовым вариантом, может составлять величину порядка 47–48 кг.

Библиографические ссылки

1. Effects of interaction of electric thruster jets and spacecraft solar batteries / M. P. Burgasov, A. B. Nadiradzer, A. A. Chirov [et al.] // European Space Power Conference ; Graz, Austria. 23–27 Aug. 1993. (ESA WPP-054, Aug. 1993).
2. Разработка и поставка пакета прикладных программ для расчета воздействия струй СПД и ТКД на элементы КА : отчет о НИР. Тема № 208-97040. Моск. гос. авиационный ин-т. М., 2001.

Yu. M. Yermoshkin, V. M. Urusov

CRITERIA OF ORBITAL CONTROL THRUSTER OPTIMAL ALLOCATION ON BOARD OF GEOSTATIONARY SPACECRAFT

During designing of new, especially long-life geostationary spacecrafts we face a problem of rational orbital control thruster allocation. In this paper we consider the possible criteria for solution of such problem and the results of their application.

Keywords: spacecraft, thruster, propulsion, fuel, working body.

© Ермошкин Ю. М., Урусов В. М., 2011

УДК 629.76.78.015

И. Н. Карцан, В. С. Пономарев, Е. С. Жукова, С. В. Литошик

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ПЕРВИЧНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ*

Анализируются астрономические источники первичной навигационной информации для автономного определения движения объектов.

Ключевые слова: зенитное расстояние звезды, сжатие земного сфероида, вектор напряженности.

Астрономические источники ПНП, а также методы и средства решения задачи навигации в космосе, основан-

ные на использовании этой информации, в значительной степени определяют успех выполнения всех задач, кото-

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры России» на 2009–2013 гг. ГК № 14.740.11.0329 от 17.02.2010 г.

рые ставятся перед космическими системами самого различного назначения. В настоящее время практически нет таких космических аппаратов и кораблей, в составе бортовых систем которых не были бы представлены устройства навигации и ориентации, основывающиеся на использовании информации, получаемой от астрономических источников.

Для целей навигации и ориентации в космическом пространстве могут использоваться все поля, возбуждаемые астрономическими объектами: электромагнитное (во всем возможном диапазоне длин волн от ультрафиолета до радиодиапазона), магнитное, гравитационное. При этом первичной навигационной информацией могут являться результаты измерений любых физических величин, обусловленных полями, характеристики которых зависят от координат и скорости КА. К числу таких величин можно отнести величину и градиенты полей, интенсивность излучения, углы положения астрономических ориентиров относительно некоторых направлений, удаленность от поверхности близких небесных тел, измеряемую дальномерами [1].

Измерение положения звезды относительно направления текущего радиус-вектора.

Пусть r – радиус-вектор, определяющий положение КА в некоторой системе координат $OXYZ$ (рис. 1), а s^0 – единичный вектор, направленный из начала координат в точку расположения неподвижной звезды. Обозначим буквой β угол между r и s^0 . Величина этого угла определяется простым выражением

$$\beta = \arccos \frac{rs^0}{r} = \frac{xa^0 + yb^0 + zc^0}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}}, \quad (1)$$

где x, y, z – составляющие радиус-вектора r в системе $OXYZ$, a^0, b^0, c^0 – составляющие единичного вектора s^0 в системе $OXYZ$.

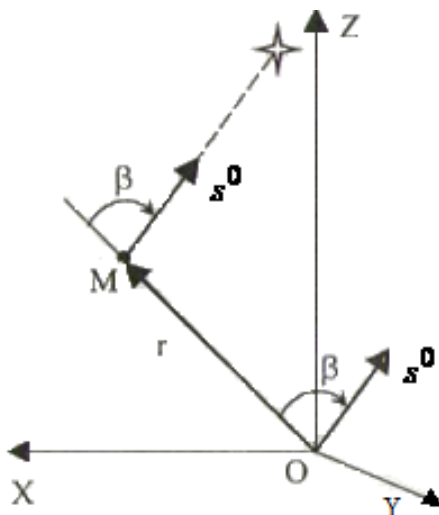


Рис. 1. Схема измерения зенитного расстояния

Зная положение звезды и измерив угол β , который называют зенитным расстоянием, можно лишь указать, что КА находится на конической поверхности с вершиной в точке O , образованной вращением луча вокруг вектора s^0 лучом под углом β . На одной из образующих этой поверхности лежит вектор r .

Измеряя зенитное расстояние второй звезды, построим вторую коническую поверхность. Две линии пересечения (в общем случае) полученных поверхностей позволяют определить два направления возможного положения радиус-вектора r . С одним из этих направлений совпадает истинное положение r .

Уравнения прямых, соответствующих двум направлениям r , определяются в результате совместного решения двух уравнений, отличающихся только коэффициентами a^0, b^0, c^0 . Для нахождения положения КА необходимо измерить третье зенитное расстояние и построить третью коническую поверхность, однако выбор из двух направлений того, которое соответствует положению КА, обычно не представляет затруднений.

При $r \ll \infty$ для реализации этого состава измерений необходимо располагать бортовыми устройствами, воспроизводящими направление радиус-вектора r и осуществляющими пеленгацию звезд. При полетах вблизи небесных тел такими устройствами могут являться приборная вертикаль и автоматический секстант. При этом все измерительное устройство целесообразно осуществлять в виде единого блока, позволяющего избежать промежуточных вычислений по приведению составляющих r и s^0 к единой системе отсчета.

Чувствительность измеряемого угла β к изменению координат x, y, z определяется производными, полученными дифференцированием уравнения (1):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \beta}{\partial x} &= \left(\frac{x}{r} \cos \beta - a^0 \right) / r \sin \beta, \\ \frac{\partial \beta}{\partial y} &= \left(\frac{y}{r} \cos \beta - b^0 \right) / r \sin \beta, \\ \frac{\partial \beta}{\partial z} &= \left(\frac{z}{r} \cos \beta - c^0 \right) / r \sin \beta, \end{aligned} \quad (2)$$

Связь между приращением $\partial \beta$ угла β и малым отклонением ∂r радиус-вектора r определяется формулой [1]

$$\partial \beta = \frac{n \partial r}{r}, \quad (3)$$

где n – единичный вектор, лежащий в плоскости измерений и перпендикулярный вектору r . Плоскость измерений образуется векторами s^0 и r , проходящими через начало координат.

Измерение видимого углового диаметра Земли. Если геометрический центр сферической Земли расположен в точке, определяемой радиус-вектором r_n (рис. 2), то ее видимый угловой диаметр d находится с помощью выражения

$$\begin{aligned} d &= 2\gamma = 2 \arcsin \frac{R_n}{\rho} = \\ &= 2 \arcsin \frac{R_n}{\left[(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 + (z_n - z)^2 \right]^{1/2}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где R_n – радиус Земли; x_n, y_n, z_n – его составляющие по осям X, Y, Z ; $\rho = r_n - r$ – радиус-вектор, определяющий взаимное положение центров КА и Земли; ρ – модуль радиус-вектора.

Если начало системы координат $OXYZ$ совмещено с геометрическим центром O Земли, то $r_n = 0$ и выражение (4) принимает вид

$$d = 2 \arcsin \left[\frac{R_n}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \right]. \quad (5)$$

При измерениях видимого углового диаметра реальных планет вследствие сжатия и отклонения рельефа от правильной сферической поверхности появляются методические погрешности, детерминированный учет которых представляет практически неразрешимую задачу.

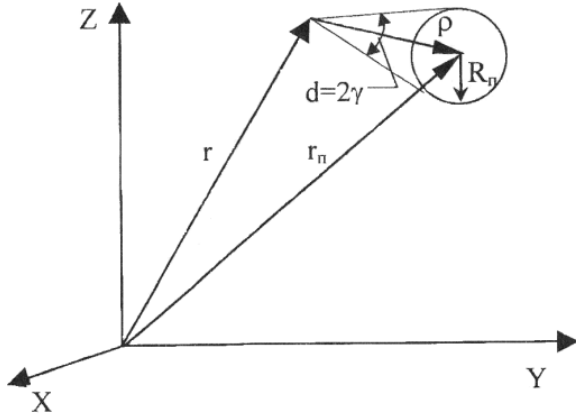


Рис. 2. Схема измерения видимого углового диаметра Земли

Однако при наличии некоторых усредненных характеристик распределения рельефа такой учет может быть произведен в статистическом плане. Так, например, в результате обработки данных об истинных фигурах Земли и Луны могут быть получены статистические оценки погрешностей измерения видимых угловых радиусов $\delta\gamma$ этих небесных тел, определяемых расстоянием до их центров δr [1]. С вероятностью 90 % эти погрешности имеют следующие значения: погрешности от отклонений рельефа поверхности Земли относительно уровня сфероиды (без учета рефракции)

$$\delta\gamma = \frac{0,95}{(r^2 - R_n^2)^{1/2}}; \quad \delta r = \frac{0,95}{R_n};$$

погрешности от сжатия земного сфероиды

$$\delta\gamma = \frac{0,243 R_3^2 \varepsilon^2}{r^2 (r^2 - R_3^2)^{1/2}}; \quad \delta r = \frac{0,243 R_3^2 \varepsilon^2}{r}.$$

Следует иметь в виду, что ошибки измерения угла γ вблизи Земли в реальных условиях будут значительно выше приведенных за счет размытости самого горизонта светящейся атмосферой.

Производные, характеризующие чувствительность угла d к изменению координат, имеют вид

$$\begin{aligned} \partial d / \partial x &= -2 \frac{x - x_n}{\rho^2} \operatorname{tg} \frac{d}{2}, \\ \partial d / \partial y &= -2 \frac{y - y_n}{\rho^2} \operatorname{tg} \frac{d}{2}, \\ \partial d / \partial z &= -2 \frac{z - z_n}{\rho^2} \operatorname{tg} \frac{d}{2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Если центр Земли совмещен с началом системы координат, то в формулах (6) необходимо учесть, что $\rho = r$, $x_n = y_n = z_n = 0$. В общем случае для сферической Земли радиусам R_n , связь между приращениями δr вектора r и угла $\delta\gamma = \delta(d/2)$ определяется формулой

$$\delta\gamma = -\frac{m \delta r}{r} \operatorname{tg} \gamma, \quad (7)$$

где m – единичный вектор, направленный из центра Земли в точку наблюдения (вдоль вектора r).

Измерение положения звезды относительно линии видимого горизонта. Пусть начало системы координат $OXYZ$ совмещено с центром сферической Земли O , имеющим радиус R_n (рис. 3). Обозначим: r – радиус-вектор положения КА; s^0 – единичный вектор направления на бесконечно удаленную звезду; β – угол между r и s^0 в точке наблюдения.

Тогда угол Φ между направлением на звезду и линией видимого горизонта определится выражением

$$\Phi = \pi - \beta - \gamma, \quad (8)$$

где β – определяется равенством (1), а γ выглядит следующим образом:

$$\gamma = \arcsin \frac{R_n}{r} = \arcsin \left[\frac{R_n}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \right]. \quad (9)$$

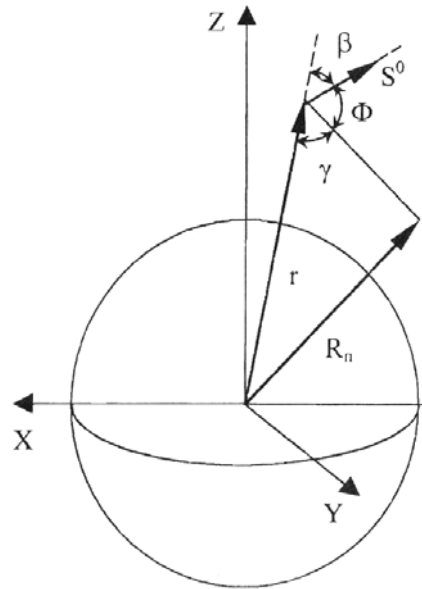


Рис. 3. Измерение положения звезды относительно видимого горизонта

В большинстве случаев звезды Земли не являются сферическими, и для точных измерений необходимо было бы учитывать истинное значение R_n в точке горизонта под звездой. Однако такой учет ведет к значительному усложнению всех вычислений. Поэтому расчет по формуле (9) допустим только для измерений, производимых на значительных удалениях от планет с относительно небольшим сжатием. На очень малых удалениях от поверхности Земли некоторое повышение точности может быть достигнуто в результате учета радиуса Земли в точке пересечения радиус-вектора r с ее поверхностью. Так, например, если высота полета КА над поверхностью Земли составляет 150–180 км, то при совмещении оси Z с полюсом мира радиус Земли в горизонте может быть принят равным ее радиусу R_n в подспутниковой точке. Если при этом считать, что фигура Земли соответствует эллипсоиду вращения с экваториальным радиусом R_e и сжатием ε , то радиус подспутниковой точки имеет вид

$$R_n = R_s (1 - \varepsilon z^2 / r^2)$$

откуда

$$\gamma = \arcsin \left[\frac{R_s (1 - \varepsilon z^2 / r^2)}{(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} \right]. \quad (10)$$

Связь между приращениями радиус-вектора r и измеряемого угла Φ может быть найдена дифференцированием уравнения (8).

В результате получим $\frac{\partial \Phi}{\partial x} = -\frac{\partial \beta}{\partial x} - \frac{\partial \gamma}{\partial x}$,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = -\frac{\partial \beta}{\partial y} - \frac{\partial \gamma}{\partial y}, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = -\frac{\partial \beta}{\partial z} - \frac{\partial \gamma}{\partial z}, \quad \text{где производные}$$

$\frac{\partial \beta}{\partial x}, \frac{\partial \beta}{\partial y}, \frac{\partial \beta}{\partial z}$ вычисляются по формулам (2).

Производные $\frac{\partial \gamma}{\partial q}$ вычисляются по формулам (6) с заменой ρ на r . Малые приращения угла Φ связаны с приращениями вектора r уравнениями

$$\delta \Phi = \frac{1}{r} (n - m \operatorname{tg} \gamma) \delta r, \quad (11)$$

где n – единичный вектор, лежащий в плоскости, образуемой векторами r и s^0 , и перпендикулярный вектору r ; m – единичный вектор в точке наблюдения, направленный по вектору r . Таким образом, данный состав измерений по своим информативным свойствам эквивалентен одновременному измерению зенитного расстояния β звезды и углового диаметра d Земли. Методические ошибки, обусловленные сжатием и рельефом Земли, при измерениях угла Φ могут быть учтены по тем же формулам, что и для измерений видимого углового диаметра d Земли.

Измерение угла между звездой и известным ориентиром на поверхности Земли. Совместим начало системы координат $OXYZ$ с геометрическим центром Земли O (рис. 4). Пусть r – радиус-вектор положения КА; $r_{\text{оп}}$ – радиус-вектор, определяющий положение ориентира на поверхности Земли; s^0 – единичный вектор, направленный на бесконечно удаленную звезду.

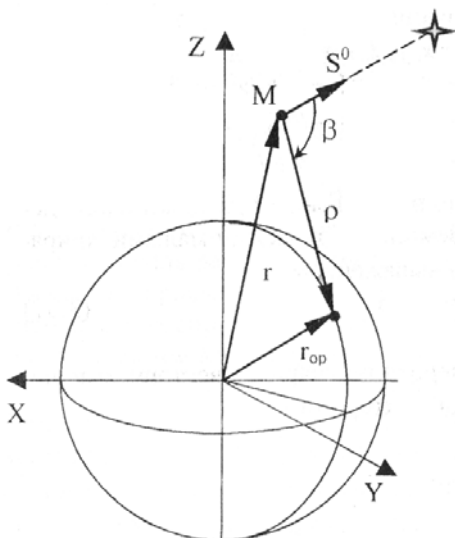


Рис. 4. Измерение положения звезды относительно ориентира на поверхности

Тогда угол β между векторами s^0 и $\rho = r - r_{\text{оп}}$ определяется выражением

$$\beta = \arccos \frac{(x - x_{\text{оп}})a_0 + (y - y_{\text{оп}})b_0 + (z - z_{\text{оп}})c_0}{[(x - x_{\text{оп}})^2 + (y - y_{\text{оп}})^2 + (z - z_{\text{оп}})^2]^{1/2}}. \quad (12)$$

Производные, определяющие связь между малыми приращениями угла β и координат x, y, z , имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \partial \beta / \partial x &= [(x - x_{\text{оп}}) \cos \beta - a_0 \rho] / \rho^2 \sin \beta, \\ \partial \beta / \partial y &= [(y - y_{\text{оп}}) \cos \beta - b_0 \rho] / \rho^2 \sin \beta, \\ \partial \beta / \partial z &= [(z - z_{\text{оп}}) \cos \beta - c_0 \rho] / \rho^2 \sin \beta, \end{aligned} \quad (13)$$

где ρ – радиус-вектор, направленный из точки наблюдения к точке на поверхности Земли. Связь между малыми приращениями $\delta \beta$ и δr определяется выражением

$$\delta \beta = n_1 \delta r / \rho, \quad (14)$$

где n_1 – единичный вектор, перпендикулярный вектору ρ и лежащий в плоскости, образуемой векторами s^0 и ρ .

Возможности использования для навигации некоторых физических полей. Помимо электромагнитного и гравитационного полей астрономические объекты имеют другие поля, которые принципиально могут явиться источниками ПНП. К их числу относятся магнитное и электростатическое поля, а также поле атмосферы. Однако к настоящему времени только магнитное поле Земли изучено в такой степени, что оно может быть практически использовано для навигации в космосе.

В первом приближении магнитное поле Земли может быть представлено в виде поля однородного намагниченного шара или поля центрального диполя. Начало вектора магнитного момента M этого поля совмещено с геометрическим центром эллипсоидальной Земли, и он наклонен под углом $11^\circ 30'$ к ее оси вращения. Вектор напряженности T этого поля (как поля диполя) описывается уравнением

$$T = \left[M - 3 \frac{rM}{r^2} r \right] / r^3, \quad (15)$$

где r – радиус-вектор точки наблюдения в геоцентрической системе координат.

Фактическое магнитное поле имеет более сложную структуру, причем меняющуюся во времени. Причинами отклонения реального поля Земли от дипольного и его изменения во времени являются мировые и региональные аномалии, изменение интенсивности и распределения токовых систем внутри тела Земли и токовых систем в атмосфере.

При среднем значении напряженности магнитного поля Земли γ ее поверхности, равном $3 - 10^4 \gamma$ (γ – гамма-единица, соответствующая 10^5 Э), вековые вариации магнитного момента от изменения внутренних токовых систем достигают 20γ в год. При этом систематический дрейф момента к западу составляет $0^\circ 15'$ в год.

Атмосферные токовые системы в спокойное время создают магнитное поле интенсивности $20 \gamma \dots 70 \gamma$ на расстоянии трех радиусов Земли ($r \approx 20\,000 \text{ км}$) и $10 \gamma \dots 20 \gamma$ на ее поверхности. Это поле подвержено наиболее ин-

тенсивным и быстрым изменениям, обусловленным процессами в атмосфере и активностью Солнца. При этом могут наблюдаться глобальные возмущения, охватывающие всю Землю, с изменениями интенсивности в несколько тысяч гамм при продолжительности в несколько суток; месячные возмущения с изменением интенсивности в сотни гамм при продолжительности в несколько часов; наконец, высокочастотные флюктуации интенсивности в несколько гамм и с периодом до нескольких минут. Статистические характеристики всех возмущений магнитного поля Земли в настоящее время достаточно хорошо изучены. Это позволяет создать математическую модель этого поля, относительно точно описывающую реальное поле.

Математическое ожидание T_0 вектора напряженности как среднее по множеству многолетних измерений, описывается разложением его составляющих T_x , T_y , T_z в геоцентрической системе по шаровым функциям [1]:

$$\begin{aligned} T_x &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left[(I_n^k \cos k\lambda + i_n^k \sin k\lambda) \left(\frac{R_z}{r} \right)^{n+2} + (E_n^k \cos k\lambda + e_n^k \sin k\lambda) \left(\frac{r}{R_z} \right)^{n-1} \right] \frac{d[P_n^k(\cos \theta)]}{d\theta}, \\ T_y &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left[(I_n^k \sin k\lambda - i_n^k \cos k\lambda) \left(\frac{R_z}{r} \right)^{n+2} + (E_n^k \sin k\lambda - e_n^k \cos k\lambda) \left(\frac{r}{R_z} \right)^{n-1} \right] \frac{d[P_n^k(\cos \theta)]}{d\theta}, \\ T_z &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left[(I_n^k \cos k\lambda + i_n^k \sin k\lambda) (n+1) \left(\frac{R_z}{r} \right)^{n+2} + (E_n^k \cos k\lambda + e_n^k \sin k\lambda) n \left(\frac{r}{R_z} \right)^{n-1} \right] \frac{d[P_n^k(\cos \theta)]}{d\theta}, \end{aligned} \quad (16)$$

где R_z – радиус сферической поверхности Земли; λ – географическая долгота; $\theta = 90^\circ - \varphi$ (φ – географическая широта); $P_n^k(\cos \theta)$ – присоединенные полиномы Лежандра 1-го рода; I_n^k , i_n^k , E_n^k , e_n^k – нормированные коэффициенты, зависящие от внутренних и атмосферных источников магнитного поля Земли. В настоящее время эти коэффициенты определены с относительно высокой точностью.

Первая гармоника этого разложения ($n = 1$) соответствует полю диполя. Точность знания входящих в уравнения (16) коэффициентов позволяет вычислять поля с учетом до 10-й гармоники ($n = 10$). При этом расчетные значения составляющих T_0 отличаются от фактически измеренных не более чем на 0,1...1,5 % при $r \leq R_z$. С увеличением удаленности более $5 R_z$ ошибки быстро возрастают.

Помимо математического ожидания при расчете магнитного поля Земли необходимо учитывать случайные составляющие δT , в большинстве своем носящие нестационарный характер как во времени, так и в пространстве. В настоящее время с помощью магнитометрической аппаратуры уже накоплена значительная информация о статистических характеристиках магнитного поля Земли на различных высотах от ее поверхности и о вариациях этих характеристик во времени. Это создает определенные предпосылки к тому, что в будущем при достаточном уточнении таких характеристик могут быть созданы условия для практической реализации навигационных систем искусственных спутников Земли, основанных на магнитометрических измерениях.

В основу построения таких навигационных систем могут быть доложены две основные схемы: с измерением полного вектора напряженности T и измерением лишь его модуля.

В первом случае магнитометрический измерительный блок, состоящий из трех магнитометров с ортогонально расположенными осями чувствительности, дол-

жен устанавливаться на площадке, стабилизированной в инерциальном пространстве или системе координат, связанной с Землей. Оси магнитометров ориентируются (с точностью до инструментальных и методических ошибок) по осям инерциальной или связанной с Землей системами координат. При этом каждый магнитометр измеряет составляющую вектора T по соответствующей оси. Если бы магнитное поле было детерминированным и описывалось уравнением (13), знание составляющих вектора позволило бы однозначно определять место его измерения, т. е. находить координаты КА. Однако уже из-за регулярных вариаций, учитываемых в уравнении (14), по одному измерению место измерения определяется неоднозначно, поскольку вектор T по величине и направлению может иметь одно и то же значение во многих точках. Случайные вариации приводят к тому, что количество точек становится весьма большим и даже может стремиться к бесконечности. Техническая реализация навигационной системы, базирующейся на измерениях полного вектора T , является весьма сложной проблемой из-за необходимости материализации стабилизированной платформы. Особенно трудно создать на подвижном объекте платформу, связанную с фиксированной относительно Земли системой координат.

Навигационные системы, базирующиеся на измерениях модуля вектора напряженности T , технически реализуются гораздо проще, так как они не требуют наличия стабилизированной платформы. Измерительный блок, состоящий, как и в первом случае, из трех магнитометров с ортогонально расположенными осями, может быть установлен на корпусе объекта. В любой момент времени и при любой ориентации измерительного блока модуль вектора T рассчитывается по формуле

$$T = (T_x^2 + T_y^2 + T_z^2)^{1/2}, \quad (17)$$

где T_x , T_y , T_z – измеренные составляющие вектора T по осям измерительного блока.

Однако определение места по измеренным значениям модуля вектора становится весьма сложной задачей, так как любому его значению соответствует поверхность весьма сложной конфигурации. Неоднозначность определения места как по измерениям полного вектора напряженности T , так и его модуля делает неизбежным вывод, что навигационные магнитометрические системы могут работать только в режиме уточнения места наблюдения. При этом предварительная оценка места должна быть достаточно точной, точность знания магнитного поля – весьма высокой, а навигационная задача должна решаться статистическими методами, по результатам обработки большого количества измерений.

Исходя из выше сказанного, использование астрономических источников первичной информации для автономного определения движения объектов является весьма актуальной для космической отрасли.

Библиографическая ссылка

1. Портфиров Л. Ф., Смирнов В. В., Кузнецов В. И. Аналитические методы оценки точности автономных методов определения орбит. М.: Машиностроение, 1987.

I. N. Kartsan, V. S. Ponomarev, E. S. Zhukova, S. V. Litoshik

ASTRONOMICAL SOURCES OF PRIMARY NAVIGATION INFORMATION FOR AUTONOMOUS DEFINITION OF THE OBJECT MOTION

Analyzed astronomical sources of primary navigation information for autonomous determination of the motion of objects.

Keywords: antiaircraft distance of a star, compression of a terrestrial spheroid, an intensity vector.

© Карцан И. Н., Пономарев В. С., Жукова Е. С., Литошик С. В., 2011

УДК 629.7.017.1

А. В. Кацура, В. А. Лавренов, А. А. Рябин

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Использование этих методов на различных этапах эксплуатации обеспечивает достоверность оценки технического состояния летательных аппаратов (ЛА).

Ключевые слова: техническая диагностика, неразрушающий контроль, коррозионное поражение.

Применение методов неразрушающего контроля для исходного материала, заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей на этапах производства авиационной техники способствует выпуску продукции высокого качества. Использование методов неразрушающего контроля на различных этапах эксплуатации при выполнении периодических и целевых технических осмотров обеспечивает предотвращение лётных происшествий, полную выработку назначенных и межремонтных ресурсов и их обоснованное увеличение при сохранении заложенного уровня надёжности, повышение достоверности оценки технического и коррозионного состояния высоконагруженных элементов конструкции.

Контроль технического состояния выполняется для получения информации о фактическом состоянии летательного аппарата.

Внезапный отказ, обусловленный повреждением или усталостным разрушением элемента, обычно легко выявляется при визуальном контроле.

Коррозия считается актуальной проблемой эксплуатации. В связи с этим по требованиям ИКАО – программы по сохранению целостности конструкции ЛА – обязательно включают программы по предупреждению и контролю уровня коррозии. В частности, программа коррозионной защиты содержит описание методов обнаружения, удаления и предупреждения коррозии. Основным средством обнаружения повреждения вследствие коррозии является визуальный осмотр, для недоступных зон применяются методы неразрушающего контроля [1].

Коррозионные поражения элементов, возникающие в процессе эксплуатации, требуют своевременного обнаружения и устранения. Неудаленные очаги коррозии

при дальнейшей эксплуатации развиваются, как правило, без торможения во времени.

Своевременное обнаружение коррозионных поражений при визуальных и инструментальных осмотрах зависит от возможности доступа к осматриваемой зоне и величины (относительного размера) поражения.

Схемы и рисунки элементов конструкции, которые необходимо контролировать по коррозионному состоянию при выполнении технического обслуживания, методы удаления очагов коррозии и восстановления защитных покрытий приведены разработчиком ЛА в руководстве по защите от коррозии летательного аппарата в эксплуатации.

Коррозионные поражения элементов, находящихся в легкодоступных местах, также выявляются при визуальных осмотрах.

Для осмотра труднодоступных зон необходимо использовать переносные лампы, поворотные зеркала, перископические дефектоскопы, эндоскопы и другие инструменты.

При осмотре силовых элементов конструкции с целью контроля коррозионного состояния необходимо через определенные периоды времени применять инструментальные методы неразрушающего контроля.

Для обеспечения полного использования возможностей методов неразрушающего контроля должны выполняться следующие условия:

1) в процессе разработки летательного аппарата и эксплуатационно-технической документации должно быть предусмотрено применение методов неразрушающего контроля для проверки технического состояния частей и узлов ЛА;

2) при проектировании летательного аппарата необходимо предусмотреть контролепригодность конструк-

ции и возможность доступа к контролируемым зонам, соответствующего используемым методам контроля;

3) конструкция летательного аппарата должна быть приспособлена (адаптирована) к существующим методам и средствам неразрушающего контроля. Если возможность применения этих методов не обеспечена (а также невозможны другие виды контроля состояния или осмотры, освидетельствования), конструкцию необходимо модифицировать или нужно подобрать (разработать) новый метод исследования состояния ЛА и аппаратуру для обследования конструкции;

4) определены зоны, представляющие наибольшую опасность, на основе анализа напряжений, результатов статических и динамических испытаний или на основе систематизации данных по отказам подобных конструкций.

Методы обнаружения дефектов материала и выявления признаков разрушения деталей и элементов конструкции. Наиболее распространены в условиях производства, эксплуатации и ремонта авиационной техники оптические радиационные, магнитные, капиллярные, вихревые и акустические методы контроля [2].

Из оптических методов наиболее широко распространен оптико-визуальный метод с использованием луп, жёстких и гибких эндоскопов и других приборов.

Оптико-визуальный метод предназначен для обнаружения различных поверхностных дефектов материала деталей и, при наличии каналов для доступа приборов к контролируемым объектам, скрытых дефектов агрегатов, для контроля закрытых участков, труднодоступных мест самолетных и двигательных конструкций с применением оптических приборов. Этот метод позволяет обнаружить большие раскрытые трещины, механический износ, поверхностную коррозию, пробоины, обрывы, остаточную деформацию, нарушение сплошности защитных покрытий.

Для контроля удаленных объектов, расположенных на расстоянии более 250 мм от глаз наблюдателя, применяют телескопические лупы и бинокли. Детали и элементы конструкций, недоступные прямому наблюдению, осматривают с применением гибких телескопических приборов – эндоскопов, сконструированных на основе волоконной оптики.

Рентгеновский метод обеспечивает выявление дефектов, протяженность которых составляет 1...2 % толщины просвечиваемого объекта, наименьшая ширина раскрытия трещин – 0,1 мм в конструкциях до 40 мм, при толщине, большей 40 мм – 2,5 % от просвечиваемой толщины. В полевых, цеховых, ангарных условиях применяются установки РУЛ 120-5, РАЛ 150-3ДФ, РАЛ 200М-6Н. Недостатки метода: громоздкость и сложность аппаратуры, низкая маневренность в цехе и на аэродроме, трудность подходов с рентгеновской трубой к деталям, высокая стоимость поиска дефектов, наличие опасности для людей.

Магнитопорошковый метод, применимый для контроля деталей, выполненных из магнитных сталей (стальные детали), основан на обнаружении с помощью ферромагнитных частиц, выполняющих роль индикаторов, искажения (рассеяния) магнитных полей над дефектами. Проходя по бездефектным зонам, магнитный поток не меняет направления и не выходит за пределы детали. Если на пути магнитного потока встречаются участки с пони-

женной магнитной проницаемостью, то часть магнитного потока выходит за пределы детали, образуя неоднородное магнитное поле рассеяния. Применяется для выявления поверхностных и неглубокозалегающих (на глубине 0,1...0,3 мм) поверхностных дефектов. Выявляются микротрещины с шириной раскрытия 0,001...0,003 мм и более на глубину 0,01...0,05 мм, а также крупные дефекты (непровары, поры и т. п.) площадью 2...3 мм², лежащие на небольшой глубине под поверхностью (1...3 мм). Недостатки метода: необходимость снятия (удаления) защитного покрытия толщиной более 0,03 мм, затрудненность расшифровки результатов, вероятность неполного размагничивания деталей и влияния их на курсовые индикаторы.

Капиллярный метод предназначен для выявления поверхностных дефектов (трещин усталостного и коррозионного происхождения, коррозионных повреждений, оценки полноты удаления коррозионных дефектов) на деталях, предварительно очищенных от лакокрасочных покрытий и продуктов коррозии. Чувствительность метода позволяет обнаружить трещину с шириной раскрытия 0,001 мм, глубиной 0,01 мм и протяженностью более 0,1 мм.

Капиллярный контроль возможен при условии, что параметр шероховатости R_z зачищенной поверхности не превышает 20 мкм.

Контроль обширных поверхностей с целью выявления коррозионных поражений (проверка полноты удаления коррозии) осуществляется набором дефектоскопических материалов ЦМ-15В ($I_2M_2P_2$) по ОСТ 1.90282–79.

Выявление локальных коррозионных поражений обеспечивается цветным набором дефектоскопических материалов ЦМ-15В ($I_2M_2P_{15}$) по ОСТ 1.90243–83.

Сущность контроля капиллярным методом состоит в том, что на очищенную поверхность контролируемой детали наносят окрашенную в красный цвет или люминесцирующую смачивающую жидкость, заполняющую полости имеющихся дефектов. Затем жидкость удаляют с поверхности детали. Оставшаяся в полостях дефектов часть жидкости выступает из них после нанесения проявителя в виде специальной белой проявляющей краски или порошка. Выступающая жидкость окрашивает проявитель и образует хорошо видимый на белом фоне красный или люминесцирующий в ультрафиолетовых лучах индикаторный рисунок – информативный параметр капиллярных методов, который свидетельствует о наличии дефекта, указывает место его расположения, форму и протяженность на поверхности детали. Достоинства метода: чувствительный, точный, применим для исследования больших зон поверхности деталей за один приём, результаты очень наглядны. Недостатки состоят в том, что необходимо удаление защитного покрытия любой толщины, высокая трудоемкость и длительность процесса – около 1...3 ч, низкая вероятность обнаружения дефектов под окисными плёнками, в поверхности после механической обработки.

Вихревые методы применяются для неразрушающего контроля деталей из немагнитных материалов, для обнаружения поверхностных или близко расположенных к поверхности дефектов и коррозионных поражений (на глубине около 1 мм), закрытых слоем диэлектрика или

металла, а также для определения полноты устранения коррозии после зачистки механическим способом. Позволяет определять дефекты на глубину 0,15...0,2 мм, длиной 0,6...2,0 мм и шириной раскрытия трещины 0,0005...0,001 мм. Метод основан на возбуждении в материале вихревых токов и оценке их влияния на магнитный поток, создаваемый катушкой индуктивности (преобразователем). Вихретоковый контроль является локальным, и для проверки детали преобразователь необходимо перемещать по всей зоне, подлежащей контролю. Контроль осуществляется высокочастотными статическими дефектоскопами типа ВДУ-20КМ, ВДЛ-20, ВД-1ГА, ППД-2М, ТВД, ВД-22Н («Проба-5»), динамическими модуляционными вихретоковыми дефектоскопами и градиентометрическими дефектоскопами типа «Дуэт-С», «Полёт-ЗС».

Выявление коррозионных повреждений под слоем диэлектрика или металла осуществляется вихретоковыми градиентометрическими дефектоскопами типа «Дуэт-С», «Полёт-ЗС», дефектоскопом Phaseck 2200 (Англия), с помощью многофункционального прибора «Алкопроб» и другими приборами.

Контроль обширных поверхностей целесообразно проводить динамическими модуляционными вихретоковыми дефектоскопами типа ВД-21НД («Проба-3»), обладающими высокой скоростью сканирования. Дефектоскопы обеспечивают выявление коррозионных поражений на плоских или имеющих большой радиус кривизны участках контролируемой поверхности.

Принцип действия градиентометрических дефектоскопов основан на регистрации изменения градиента результирующего электромагнитного поля, вызванного наличием поверхностного или подповерхностного дефекта в зоне взаимодействия вихретокового преобразователя с электропроводящим материалом контролируемой детали. Градиентометрические приборы настраиваются по контрольным образцам, а затем подстраиваются на бездефектном участке контролируемой детали. Рабочая частота выбирается с учётом электропроводности и предполагаемой глубины залегания дефекта. С увеличением электропроводности и глубины залегания дефекта рабочая частота должна выбираться более низкой. Градиентометрические дефектоскопы обеспечивают выявление подповерхностных коррозионных поражений на деталях толщиной от 1 до 3 мм в виде трещин длиной более 3 мм; в виде раковин диаметром не менее 3 мм, если глубина дефекта составляет не менее 30 % от толщины контролируемой детали.

Контролю могут подвергаться как однослойные, так и двухслойные конструкции. При контроле двухслойных конструкций с коррозионным дефектом, расположенным между слоями металла (например, между стрингером и обшивкой), преобразователь перемещается между заклепками в двух взаимно перпендикулярных направлениях, желательно с двух противоположных сторон, так как показания прибораов существенное влияние оказывает зазор между пластинами. При проведении контроля в двух взаимно перпендикулярных направлениях настройку прибора перед сканированием необходимо проводить в каждом из направлений. Наличие дефекта определяется звуковой, световой или стрелочной индикацией.

Недостатками метода являются сложность определения характера дефекта и его размеров по результатам контроля, отсутствие наглядности результатов измерения, большая трудоёмкость ручного контроля обширных поверхностей, более низкая чувствительность по сравнению с магнитопорошковым и капиллярным методами к поверхностным дефектам по их глубине и протяжённости, ограниченное применение в деталях с резко меняющейся толщиной и при толщинах детали, соизмеримых с глубиной проникновения вихревого тока.

Преимущества метода состоят в отсутствии необходимости зачистки поверхности, возможности обнаружения дефектов на небольших поверхностях в труднодоступных местах конструкции, выявлении микротрещин с шириной раскрытия у выхода на поверхность 0,5 мкм, возможности контроля многослойных неразъемных конструкций.

Самыми распространенными из акустических методов неразрушающего контроля являются ультразвуковой метод, импульсный эхо-метод, акустический импедансный метод [3].

Ультразвуковой метод предназначен для неразрушающего контроля деталей из сталей и сплавов (немагнитных и магнитных материалов), обнаружения дефектов различного происхождения. Главное достоинство метода – возможность определения при одностороннем подходе наличия и размеров внутренних дефектов, находящихся на большой глубине или выходящих на недоступную поверхность. Позволяет контролировать внутренние дефекты на площади 1,0...1,5 мм², поверхностные дефекты глубиной 0,1...0,3 мм, протяжённостью 1,0...2,0 мм и трещины с раскрытием 0,001...0,3 мм. Применяются дефектоскоп типа УД2-12, толщиномер типа УТ93П.

Акустический импедансный метод дефектоскопии в авиации используют при исследовании элементов конструкции, выполненных из композиционных материалов, с целью выявления отслоений обшивки от заполнителя или от элементов каркаса в сотовых конструкциях закрылков, тормозных щитков, спойлеров, сервокомпенсаторов, органов механизации и органов управления самолетов. Метод основан на различии механических импедансов дефектного и бездефектного участков контролируемого изделия. Механическим импедансом Z (или полным механическим сопротивлением) называется отношение приложенной возмущающей силы F к скорости V колебаний частиц среды в точке приложения силы: $Z = F / V$. Механический импеданс многослойной, например сотовой конструкции в зоне приложения к ней преобразователя – дефектоскопа – определяется всеми элементами: обшивкой и сотовым заполнителем, соединёнными клеевым слоем в одну механическую систему. Когда обшивка и сотовый заполнитель соединены между собой, конструкция колеблется как единое целое, а механический импеданс и связанная с ним сила реакции F_p изделия на преобразователь максимальны. При установке преобразователя в зону сотовой конструкции, где имеется отслоение обшивки или непрочной обшивки и сотовым заполнителем, амплитуда силы реакции резко уменьшается ($F_{p2} < F_{p1}$). Это обусловлено тем, что жесткость отслоившейся обшивки существенно меньше жесткости всей конструкции.

Для выявления отслоений обшивки от сотового заполнителя используют акустические импедансные дефектоскопы ИАД-3, АД-40И. Применение дефектоскопа АД-40И предпочтительнее, так как конструкция его преобразователей обеспечивает постоянство силы прижатия контактного наконечника к контролируемому изделию и перпендикулярность оси колебательной системы к поверхности обшивки. Это значительно облегчает проведение контроля и анализ его результатов. Кроме того, дефектоскоп АД-40И обеспечен автономным питанием (аккумуляторными батареями).

В настоящий момент при проведении неразрушающего контроля предлагается использовать новые приборы.

1. Портативный дефектоскоп для комплексного контроля – MIZ-21SR – для определения параметров и характеристик коррозионных процессов и процессов коррозии под напряжением в металле, который объединяет вихретоковый и два ультразвуковых прибора (резонансный и велосимметрический), что позволяет определить повреждение структуры в многослойных материалах.

2. Акустические контрольные системы – толщиномеры ультразвуковые (табл. 1) и дефектоскопы ультразвуковые для контроля изделий из металлов и пластмасс (табл. 2).

3. Импедансный экспресс-тестер – ТЭРИ-04. Современная альтернатива простукиванию «молотком» сотовых авиационных конструкций.

4. Томографик УД4-Т – многозначный режим работы, быстрая смена приложений (ультразвуковой дефектоскоп (0,2...10 МГц); ЭМА-толщиномер (0,2...700 мм); резонансный дефектоскоп (0,2...10 МГц); вихретоковый дефектоскоп (1,0...10 МГц); акустический тензомер (определение затяжки резьбовых деталей); видеоскоп.

Библиографические ссылки

1. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. М. : Машиностроение, 2003.
2. Пивоваров В. А., Машонин О. Ф. Дефектоскопия гражданской авиационной техники. М. : Транспорт, 1997.
3. Ямпольский В. И., Белоконов Н. И., Пилипосян Б. Н. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники. М. : Транспорт, 1990.

Таблица 1

Толщиномеры ультразвуковые

Марка прибора	Температурный диапазон применения, °С	Частота измерения, МГц	Диапазон измерений, мм
А 1207	–30...+50	10	0,8...30
А 1207С	–30...+50	5	10...200
А 1208	–30...+55	2; 10	0,8...300
А 1209	–30...+45	2,5; 5; 10	0,6...300
ЭМА А 1270	–20...+45	2; 5	0,5...100

Таблица 2

Дефектоскопы ультразвуковые для контроля изделий из металлов и пластмасс

Марка прибора	Температурный диапазон применения, °С	Частота измерения, МГц
А 1212 мастер IP65	–20...+45	0,5...15
А 1214 эксперт IP65	–30...+45	0,5...15

A. V. Katsura, V. A. Lavrenov, A. A. Ryabin

USAGE OF NDT (NONDESTRUCTIVE TEST) METHODS FOR DIAGNOSTICS OF CORROSION DAMAGE OF AIRFRAME STRUCTURE

Usage of the proposed methods at different phases of maintenance provides credibility of assessment of aircraft technical condition

Keyword: technical diagnostics, NDT (nondestructive test), corrosive damage.

© Кацура А. В., Лавренов В. А., Рябин А. А., 2011

Е. В. Кочура

РАЗРАБОТКА МАКРОПРОГРАММ ИНТЕГРАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

Выбрано направление развития и совершенствования процесса разработки макропрограмм интегрального управления с целью сокращения трудозатрат и снижения влияния «человеческого фактора». Выдвинуты основные функциональные требования к инструментальным средствам проектирования макропрограмм автономного управления космическими аппаратами.

Ключевые слова: макропрограммы интегрального управления, инструментальные средства проектирования, функциональные требования.

В соответствии с используемыми в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» принципами построения бортового программного обеспечения спутников связи и навигации [1], реализация интегральных режимов функционирования спутника осуществляется с помощью средств интегрального управления, входящих в состав ПО БКУ и являющихся по сути интерпретаторами проблемно ориентированного языка программирования «Реал» [2], реализующего логику автономного управления спутником.

Программы, написанные на этом языке, исходя из их статуса и назначения, называются макропрограммами интегрального управления.

Макропрограммы интегрального управления космическими аппаратами. Макропрограммы интегрального управления представляют структурированный набор логических посылок и соответствующих управляющих воздействий, который предназначен для обработки программами интерпретаторами. Существуют три типа макропрограмм интегрального управления, принадлежность к которым определяется решаемыми задачами и типом обрабатывающего их интерпретатора. Для интегрального управления космическими аппаратами (КА) в БПО используются макропрограммы автономного управления, макропрограммы дежурного контроля и диагностики, макропрограммы накопления статусной информации. Каждый из видов макропрограмм имеет отличный от других состав элементов, обусловленный логикой работы конкретной программы интерпретатора [3].

Наиболее сложны для проектирования макропрограммы автономного управления, поскольку, так же как и соответствующий им интерпретатор, могут иметь в своей логике собственный рекурсивный вызов. Состав элементов макропрограмм, согласно [4], представлен в следующем перечне:

- группы логических последовательностей;
- логические последовательности;
- макроэлементы;
- массив возможных условий;
- рекомендации.

Группы логических последовательностей образуют одну макропрограмму и содержат перечень логических последовательностей. В свою очередь логические последовательности состоят из набора макроэлементов, каждый из которых выполняется только в том случае, если после обработки предыдущего получено истинное зна-

чение. Макроэлементы состоят из логических условий и рекомендаций сопоставляемых с истинным и ложным значениями макроэлементов [4].

Этапы и средства разработки макропрограмм интегрального управления КА. Проектирование макропрограмм в настоящий момент представляет, в первую очередь, анализ исходных данных, содержащих требования к логике функционирования КА в соответствии с одним из режимов автономной работы. Содержание исходных данных излагается в произвольной форме, что не дает возможности для их автоматического использования программными средствами разработки. Второй этап проектирования состоит в разработке оптимального алгоритма действий макропрограммы с учетом особенностей проектирования БПО КА [1]. Данный этап, так же как и предыдущий, не обладает программными средствами автоматизации процесса разработки. Создание программных модулей является третьим этапом разработки, который выполняется с использованием системы программирования (СП) «Реал». СП «Реал» позволяет автоматизированно получать синтаксически непротиворечивые программные модули на основе информации задаваемой проектантом. Логические посылки проектируются при помощи оконного интерфейса СП «Реал» и транслируются в программные модули, содержащие описание логических посылок на проблемно ориентированном языке «Реал». Четвертый этап – это тестирование полученных макропрограмм на семантическую непротиворечивость и соответствие логике функционирования, описываемой в исходных данных. Тестирование макропрограмм имеет предпосылки для полной автоматизации процесса, что обусловлено в первую очередь логикой работы программ интерпретаторов, а во вторую – наличием формального графического языка описания циклограмм тестирования и средств подготовки циклограмм, предоставляемых автоматизированной системой испытаний [5].

Необходимо повысить эффективность проектирования макропрограмм, что позволит увеличить функциональные возможности бортового программного обеспечения (БПО) космического аппарата (КА) в режимах автономной работы. Для достижения большей результативности процесса создания макропрограмм нужно усилить формализацию в точках взаимодействия разных уровней проектирования, а также повысить наглядность содержания как отдельной макропрограммы, так и полностью

комплекса макропрограмм для конкретного бортового интерпретатора.

Требуемые функции инструментов проектирования.

Исходя из описанной задачи, сформулированы основные функциональные требования к автоматизации процесса проектирования макропрограмм интегрального управления. На данном этапе разработки принято решение о создании программного комплекса, позволяющего реализовать описанные далее функциональные требования.

1. Взаимосвязанное, графическое представление всех элементов проектирования: элементы макропрограмм, макроэлементы, макрокоманды, макропрограммы независимо друг от друга и комплексы взаимодействующих макропрограмм в целом. Все перечисленные элементы должны иметь отображение на общей временной оси, также должна быть предусмотрена возможность подробной детализации выбранной группы элементов.

2. Работа с ранее созданными макропрограммами должна осуществляться таким образом, чтобы исходные файлы не требовали доработки. Другими словами, создаваемая система должна обеспечивать преемственность макропрограмм с учётом особенностей их создания. Примером такой особенности может являться различная идентификация элементов макропрограмм. В настоящее время СП «Реал» позволяет присваивать однотипным элементам идентификаторы разного вида, что не способствует усилению формализации.

3. Автоматическое распознавание идентификаторов разного вида, но одного типа элементов и их преобразование в единую форму, необходимую для отображения с использованием графического языка.

4. Возможность графического конструирования перечисленных в п. 1 элементов. Учет параметров времени и условий реализации, предусмотренных логикой работы, должен выполняться программными средствами непосредственно при построении графической последовательности в процессе конструирования.

5. Автоматическая генерация тестовых циклограмм, позволяющих отрабатывать макропрограммы в объеме, гарантирующем их качество. Необходима возможность создания тестовых циклограмм для отдельно взятой макропрограммы с целью проведения автономной отладки разработанного продукта. Для подтверждения на соответствие логике функционирования, отображенной в исходных данных, реализовать функцию автоматической генерации тестовой циклограммы одновременно для комплекса разработанных макропрограмм. Необходима реализация возможности выбора проектантом набора макропрограмм для организации тестового комплекса и возможность использования тестового комплекса, предлагаемого системой проектирования, для снижения влияния «человеческого фактора» на процесс тестирования.

Имеющиеся средства, такие как «CODE» [6], «HeNCE» (Heterogeneous Network Computing Environment) [7] – графические системы для создания параллельных программ и ГРАФКОНТ/ГЕОЗ – интегрированная среда для проектирования управляющих алгоритмов реального времени [8], не позволяют реализовать специализированные задачи в части проектирования БПО КА. Кроме того, выдвинутые требования к автоматизации процесса разработки

макропрограмм интегрального управления предъявляются впервые и не имеют реализации в рассматриваемой предметной области, что позволяет говорить об отсутствии необходимых средств проектирования. Уникальность и потребность в программном продукте, который базируется на выдвигаемых требованиях, обуславливается узкой спецификой исследуемой области.

Функциональные требования, описанные выше, положили начало разработке прототипа программного средства визуализации макропрограмм автономного управления [9]. Актуальность задачи автоматизации проектирования макропрограмм интегрального управления обуславливает дальнейшее развитие уже существующих и формирование новых требований к программному средству визуализации при непосредственном использовании созданного прототипа.

Таким образом, представленные требования, сформулированные на основе анализа предметной области, проведенного путем непосредственного участия в процессе создания макропрограмм, дают возможность начать работы по созданию средств проектирования, которые могут существенно повысить эффективность работы проектанта и снизить влияние «человеческого фактора» на процесс разработки.

Библиографические ссылки

1. Колташев А. А., Кочура С. Г., Хартов В. В. Современная технология разработки и сопровождения бортового программного обеспечения спутников связи и навигации // Космические вехи: сб. науч. тр., посвящ. 50-летию создания ОАО «ИСС» им. акад. М. Ф. Решетнева». Красноярск, 2009.
2. Система PEAL-SESAT. Описание языка // ФГУП НПОИМ, 1996.
3. Хартов В. В. Построение на встроенной цифровой вычислительной машине интерпретатора алгоритмов логического управления сложным объектом // Космические вехи : сб. науч. тр. Железногорск, 2009. С. 225–228.
4. Бортовое программное обеспечение. Программное обеспечение бортового комплекса управления. СЕАНС. Описание программы. 154.16241-01 13 70 / ОАО «ИСС им. акад. М. Ф. Решетнева». Железногорск, 2009.
5. Колташев А. А. Основные принципы системного тестирования и подтверждения бортового программного обеспечения спутников // Вестник СибГАУ. Вып. 1 (27). 2010.
6. CODE. [Electronic Resource] // CODE. URL: www.cs.utexas.edu/users/code/ (дата обращения: 08.10.2010).
7. HeNCE (Heterogeneous Network Computing Environment) [Electronic Resource] // HeNCE. URL: www.netlib.org/hence/index.html/ (дата обращения: 08.10.2010).
8. Тюгашев А. А. Интегрированная среда для проектирования управляющих алгоритмов реального времени / СГАУ. Самара. 2005.
9. Калентьев А. А., Тюгашев А. А. Средства визуализации программ интегрального управления космическими аппаратами // Системный анализ, управление и навигация : тез. докл. 15 Междунар. науч. конф. Крым: Евпатория, 2010.

MACRO PROGRAMS ENGINEERING OF INTEGRATED CONTROL BY SPACE VEHICLES

The direction of development and perfection of macro programs engineering process of integrated control for the purpose of reduction of expenditures of labor and influence decrease «the human factor» is defined. The basic functional requirements to tool design tools of macro programs of an off-line control are formulated by space vehicles.

Keywords: macro programs of integrated control, tool design tools, functional requirements.

© Кочура Е. В., 2011

УДК 621.45–181.4:629.78

Е. М. Краева, И. С. Масич

ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ*

Представлен анализ основных параметров вихревых турбулентных потоков в поле центробежных сил. Получены зависимости математического моделирования, позволяющие проводить расчеты вихревых турбулентных структур

Ключевые слова: модель, турбулентность, параметры, вихревой поток.

Модель течения при турбулентном обтекании свободной плоской струей впадины впервые была исследована Р. Л. Хагеном и А. И. Данаком в 1966 г. Физическая модель обтекания прямоугольной впадины в виде отрывного течения с образованием вихревой зоны представлена на рис. 1.

Фотографии из работы [1] по визуализации течения при обтекании прямоугольной впадины различной ширины « b » и глубины « h » представлены на рис. 2. Линии тока визуализируются при помощи алюминиевого порошка в глицерине. По мере уменьшения ширины канала под первичным вихрем начинает формироваться вторичный и т. д. При увеличении ширины канала наоборот формируются последовательно после первого второй вихрь, параметры которых определяются соотношением высоты впадины к ширине.

В центробежных рабочих колесах полуоткрытого и открытого типов существует неравномерность потока и вихревое взаимодействие по радиусу основных потоков жидкости и в боковой пазухе насоса. Лопатки передают энергию потоку жидкости, часть которого в боковой пазухе движется с отставанием от основного. В результате образуется течение как в канале за плохообтекаемым телом, характеризующимся возникновением возвратных токов и вихрей [2]. Этот процесс определяется отношением ширины к длине канала, толщиной пограничного слоя на стенках и относительной высотой лопатки. Взаимодействие потоков в пазухе и каналах приводит к появлению циркуляционного течения в зоне за лопаткой.

Картина течения между вращающимся РК с торцовыми лопатками и гладким корпусом довольно сложна.

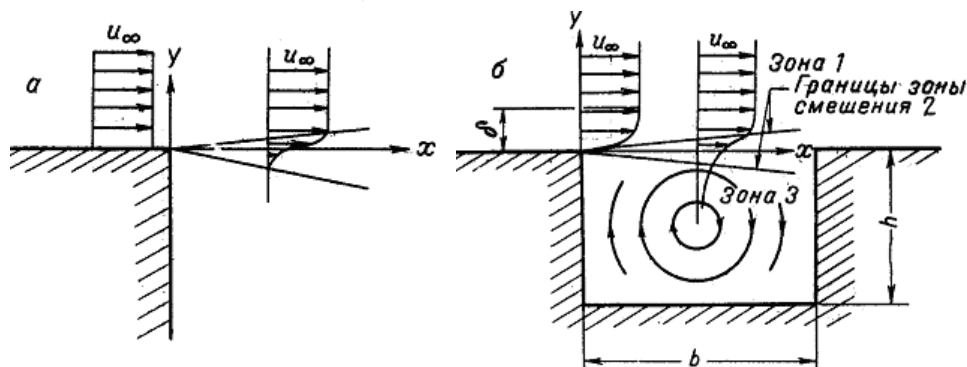


Рис. 1. Физическая модель течения: a – свободная плоская струя; b – впадина; 1 – зона набегающего потока; 2 – границы зон смешения; 3 – зона циркуляционности вихревого течения

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. ГК № П231 от 23.04.2010.

Жидкость, находящаяся в области пазов, подвергается непосредственному силовому воздействию лопаток. Жидкость в осевом зазоре закручивается за счет сил трения и проскальзывает относительно лопаток РК. Таким образом на одном и том же радиусе частицы жидкости в каналах и осевом зазоре движутся с различной скоростью, что приводит к относительному перемещению их в радиальном и осевом направлениях. В области лопаток имеется радиальное расходное течение в направлении к периферии.

Поскольку коэффициент закрутки потока $\varphi < 1$, то всегда имеет место относительное движение жидкости и лопаток РК, что непременно приводит к образованию в каналах РК циркуляционной зоны, как следствие обтекания потоком впадин.

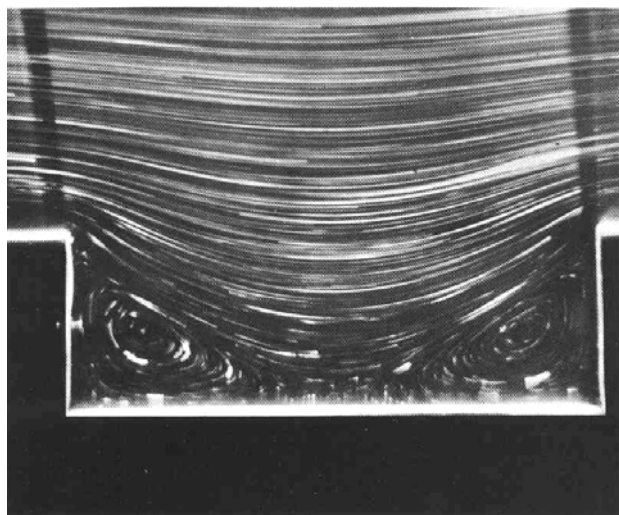
Одной из характеристик вихревой зоны в канале вращающегося РК является отношение окружной скорости к скорости набегающего потока w на внешней границе зоны вихря

$$\bar{u}_b = \frac{u_b}{w} = f\left(\frac{b}{h}\right). \quad (1)$$

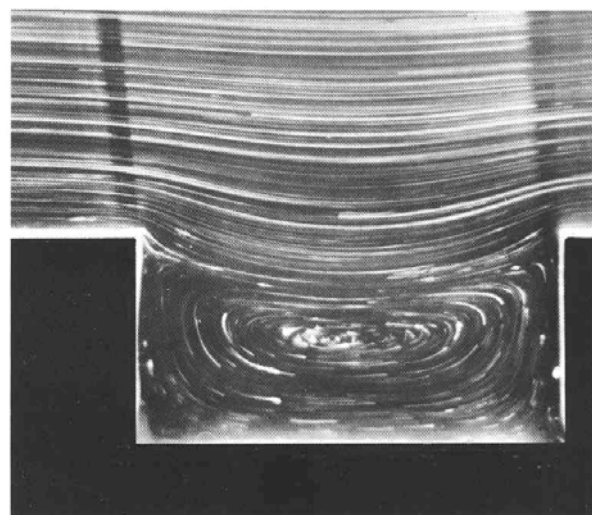
При исследовании цилиндрической гидромурты на воде в работе [3] отмечались ярко выраженные вихревые структуры во впадинах вращающегося цилиндра. Анализ этих экспериментов по определению значения $\bar{u}_b$ дает основание принять его для наших исследований равным 0,3. Такое же значение $\bar{u}_b = 0,3$ для неподвижного канала приведено в работе [2]. Характерная картина изменения окружной скорости по зазору и впадины (для $\frac{h}{b} = 1$) представлена на рис. 3, откуда видно наличие трех зон течения. Зона потока 1, обтекающего канал, зона смешения 2 и зона вихревого течения 3 в области канала, скорость в котором постоянна [4].

С целью уточнения основных особенностей гидродинамики в каналах полуоткрытого РК проведен ряд экспериментов, в том числе и по визуализации течения в таких колесах.

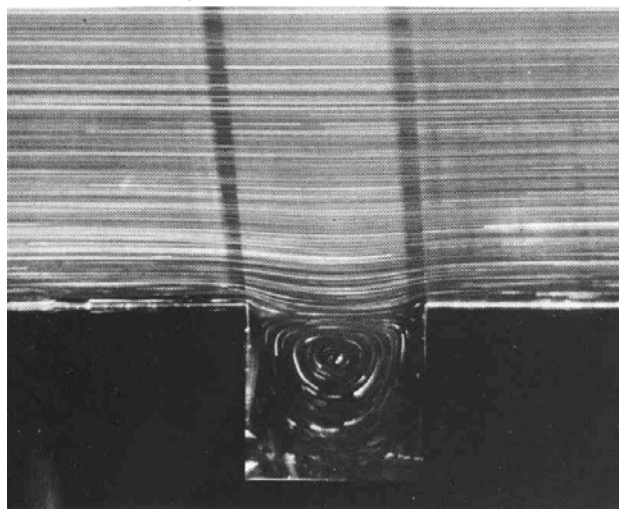
Фотографирование наклеенных флюгерков на стенке между корпусом и открытыми лопатками РК при испытании в широком диапазоне изменения режимных параметров насоса ($\dot{V} = 0 \dots 1,5 \dot{V}_{\text{ном}}$) и изменении осевого за-



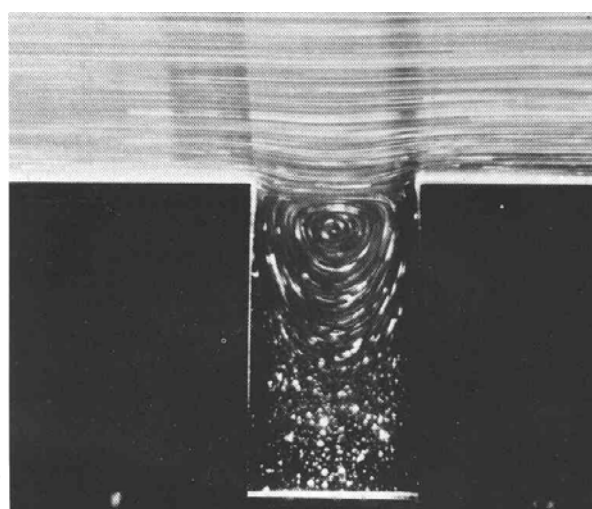
$b/h = 3$



$b/h = 2$



$b/h = 1$



$b/h = 0,5$

Рис. 2. Характер течения при обтекании прямоугольной впадины различной ширины [1]

зора от 0,5 до 3 мм показало, что для различных радиусов соблюдается постоянство отношения радиальной составляющей скорости v_R от окружной: $v_R/U = \varphi_R$. Это дает основание выразить скорость радиального течения в осевом зазоре от периферии РК к центру, с учетом коэффициента скольжения потока φ_λ в окружном направлении относительно РК, в виде

$$v_R = U \varphi_R = U K_R \varphi_\lambda, \quad (2)$$

где K_R – экспериментальная константа, $K_R = 0,45$.

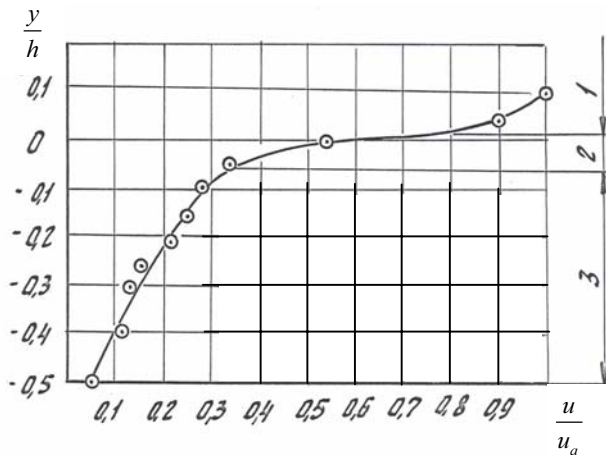


Рис. 3. Экспериментальные и теоретические профили окружной скорости в области канала по радиусу вихревой зоны: 1 – зона потока в осевом зазоре; 2 – зона смешения; 3 – зона вихревого течения; — опытные точки

В дополнение к опытам по визуализации течения в межлопаточных каналах для уточнения структуры потока в РК полуоткрытого типа был проведен анализ опытов [4], в которых поля давления измерялись по радиусу РК. Так как осевая составляющая скорости в осевом зазоре очень мала, по сравнению с другими ее компонентами, то тип насадки выбирался с учетом измерения не полной скорости, а только суммы ее окружной и радиальной составляющих.

Измерение параметров потока в осевом зазоре с лопаточной стороны РК проводилось дифманометром типа ДТ-50. При испытании одна полость дифманометра соединялась с трубкой отбора статического давления, вторая – с трубкой полного давления, расположенной на том же радиусе. Трубку полного давления можно было устанавливать в разных направлениях и перемещать в осевом зазоре. При измерении она устанавливалась в направлении максимального значения перепада давления и по известному углу наклона определялась величина радиальной составляющей скорости потока. Обработка полученных данных показала, что для различных радиусов РК соблюдается постоянство отношения радиальной составляющей скорости к окружной.

На основании исследований по визуализации потока данных работы [4] и измерения его параметров в зазоре между вращающимся РК с открытыми торцами лопаток и гладким корпусом можно представить модель струйно-вихревого обтекания каналов РК (рис. 4). Поток жидкости в межлопаточном канале такого РК подвергается непосредственному силовому воздействию лопаток. Жидкость в

осевом зазоре a_1 закручивается за счет сил трения и проскальзывает относительно торцев лопаток РК. Следовательно, на одном и том же радиусе частицы жидкости в канале и осевом зазоре a_1 движутся с различной окружной скоростью, что приводит к их относительному перемещению в радиальном и осевом направлениях.

Таким образом, как на входном участке РК с полуоткрытыми лопатками, так и по его радиусу не вся проточная часть каналов колеса заполнена потоком, движущимся от входа в рабочее колесо до выхода. Частично она заполнена потоком обратного течения. Закрученные в сторону вращения РК обратные токи перетекают в соседний канал на меньший радиус и увлекаются обратно в проточную часть, при этом образуется вихревая зона, жидкость в которой не участвует в расходном течении через насос. С увеличением подачи через насос при $\omega = \text{const}$ параметры вихревой зоны снижаются, что выражается уменьшением радиальной закрутки потока.

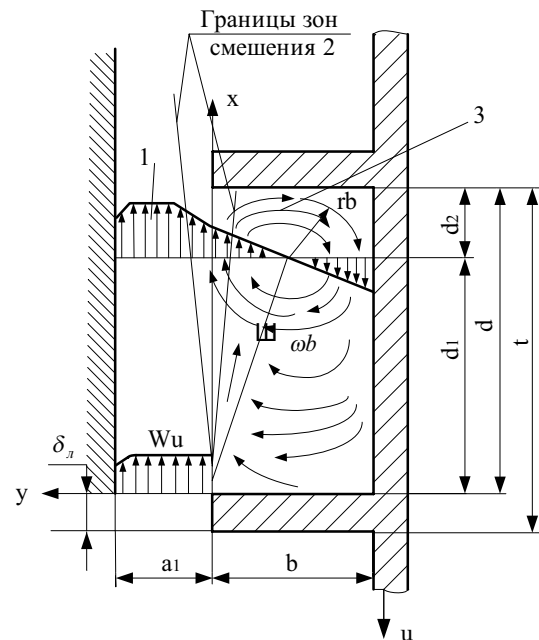


Рис. 4. Схема турбулентного течения потока в канале при обтекании лопатки РК: 1 – зона набегающего потока осевого зазора; 2 – границы зон смешения; 3 – зона циркуляционного течения в канале колеса

В окружном направлении движение потока жидкости в зазоре a_1 относительно лопаток приводит к образованию в каналах РК циркуляционной зоны вследствие обтекания потоком впадин. Известно, что при течении жидкости в канале за плохо обтекаемым телом (в нашем случае – лопатки) возникают отрывные течения, которые характеризуются образованием обратных токов и вихрей. Этот процесс в большей мере определяется отношением ширины лопатки b к расстоянию между ними $d = t - \delta_\lambda$, толщиной пограничного слоя на стенке перед каналом и относительной высотой канала. Взаимодействие между струей и жидкостью в каналах РК приводит к появлению циркуляционного течения в канале за лопаткой.

В сечении при $y = 0$ поток за счет его поджатия в осевом зазоре a_1 равномерен, и вследствие автомодельности турбулентных струй параметры циркуляционной

зоны не зависят от числа Re [2]. Тогда для зоны смещения 2 положение ее границы относительно оси X запишем в виде

$$\frac{dy}{dx} = \pm C \frac{W_U - W_H}{W_U + W_H}, \quad (3)$$

где C – опытный коэффициент, $C = 0,22 \dots 0,27$;

$$W_U = (U - U_{\text{ж}}) = U(1 - \bar{\omega}_{\text{ж}}). \quad (4)$$

Используя основные закономерности для свободных плоских струй, с учетом известных опытов о деформации любого неравномерного профиля и его перехода в струйный на очень малом расстоянии от кромки лопатки [2], получим границы для различных зон течения при обтекании межлопаточного канала конечной длины.

Для симметричной относительно оси X границы зоны смещения 2, разделяющей течение в канале от потока в зазоре a_1 , положение ее можно определить по выражению [5]

$$y = \pm 0,088 \, 29x. \quad (5)$$

Циркуляционную зону в канале РК можно условно разделить на две области: интенсивного вращательного движения по окружности с радиусом r_b , и циркуляционного движения жидкости по траекториям эллиптического характера. На основании изложенного выше с учетом уравнения (5) величина радиуса вихревой зоны интенсивного вращательного движения определится по уравнению:

$$r_b = 0,519 (h - 0,088 \, 29b). \quad (6)$$

Одной из характеристик вихревой зоны является соотношение окружной скорости и скорости набегающего потока W_u на внешней границе зоны вихря

$$\bar{W}_b = \frac{W_b}{W_u} = f\left(\frac{b}{a}\right).$$

Аналитический расчет величины $\bar{W}_b$ по данным [2] для каналов РК дает $\bar{W}_b = 0,22$. Однако экспериментальные данные, представленные в той же работе, говорят о существенном отличии расчетного значения $\bar{W}_b$ от опытного в сторону увеличения последнего, что связано с влиянием пограничных слоев. Определение экспериментального значения $\bar{W}_b$ в работах [3] дает основание принять его для нашего исследования равным 0,3. Характерна картина изменения скорости потока по осевому зазору a и межлопаточному каналу РК. На рис. 4 уточняется в форме трех зон течения: зоны потока 1, обтекающего канал, зоны смещения 2 и зоны кругового вихревого течения 3 в области канала РК.

Тогда выражение для угловой скорости вращения вихря в каналах РК на радиусе R с учетом принятого значения $\bar{W}_b = 0,3$ и зависимости от выражения (4) запишется в виде

$$\omega_b = \frac{\bar{W}_b (1 - \bar{\omega}_{\text{ж}}) \omega R}{r_b} = \frac{\bar{W}_b (1 - \bar{\omega}_{\text{ж}}) \omega R}{0,519(b - 0,088 \, 29d)}. \quad (7)$$

Экспериментальные данные в целом подтверждают принятую модель расчета каналов полуоткрытого РК в виде струйно-вихревого трехзонного течения, что позволяет рассчитать его основные параметры.

На характер и структуру течения в каналах РК определяющее влияние в основном оказывают параметры зоны

смещения и вихревого течения. На основании данных работ [1; 3; 5] следует отметить, что при обтекании квадратного канала для соотношения $b/d = 1$ имеется один устойчивый вихрь, вращающийся почти как твердое тело. При дальнейшем увеличении глубины канала до $b/d = 2$ наблюдаются две вихревые ячейки, расположенные одна над другой и имеющие противоположное направление вращения. Минимизация гидравлических потерь в каналах центробежного РК не допускает многовихревого течения, как по глубине, так и по ширине канала. Исходя из этого условия и принимая, что средние значения скорости в конце участка d_1 прямого и обратного токов циркуляционной зоны равны (см. рис. 4), согласно решению Г. Н. Абрамовича [2] для участка, в котором энергия обратного одновихревого тока достигает максимума, получим

$$d_1 = (4,75 \div 5,2)b. \quad (8)$$

По условию приближенного равенства осредненных значений энергии в прямом и обратном течениях в сечении $x = d_1$ получим размеры второго участка длиной d_2 :

$$d_2 = (0,980 \dots 0,852)b. \quad (9)$$

Таким образом, полная зона глубокого канала одновихревого течения имеет вид

$$d = d_1 + d_2 = (6,18 \dots 6,05)b. \quad (10)$$

Течение в мелком канале характеризуется вытянутой границей зоны смещения и ее присоединением к поверхности канала в точке $x = d_1$, тогда $d_1 = 11,36b$ и, с учетом образования вихря на напорной стороне лопатки РК при перетекании струи на тыльную, получим наибольшее значение величины канала:

$$d_{\text{max}} = (11,36 + 1,14)b = 12,5b. \quad (11)$$

Минимально возможная величина канала РК на основании (6) рассчитывается по формуле

$$d_{\text{min}} = 1,1423b. \quad (12)$$

Минимальную ширину лопатки на выходе из РК находим по условию сохранения ядра потока в межлопаточном канале, что одновременно будет и условием применимости теории к расчету каналов центробежного РК.

Критическое значение величины имеет вид

$\beta_{\text{кр}} = \frac{b}{b + a_1}$. При этом зона ядра потока совпадает с концом первого участка $x = d_1$, а ширина лопатки, при которой ядро вихревого потока сохраняется и не выходит за пределы первого участка циркуляционной зоны при условии $\beta_{\text{кр}} = 0,635$ [2], составит $b \geq 1,74a_1$.

Полученные расчетные значения вихревых структур турбулентного потока позволили оптимизировать расчетную модель при проектировании высокооборотных насосных агрегатов.

Библиографические ссылки

1. Альбом течений жидкости и газа : пер. с англ. / сост. М. Ван-Дайк. М. : Мир, 1986.
2. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М. : Физматгиз, 1960.
3. Левин А. А., Перельман Р. Г. Исследование цилиндрической гидромолы // Исследование агрегатов, рабо-

тающих на щелочных металлах, труды МАИ, Вып. 193. М.: Машиностроение, 1969. С. 57–102.

4. Краев М. В., Овсянников Б. В., Шапиро А. С. Гидродинамические уплотнения высокооборотных валов. М.: Машиностроение. 1976.

5. Хаген Р. Л., Данак А. М. Перенос импульса при турбулентном отрывном обтекании прямоугольной впадины // Тр. Амер. о-ва инженеров-механиков. Сер. Д, Прикладная механика. 1966. № 3. С. 189–195.

E. M. Kraeva, I. S. Masich

VORTEX STRUCTURE OF TURBULENT FLOWS AND THEIR SIMULATION

The work presents analysis of the basic parameters of vortex turbulence in the field of centrifugal forces. The dependencies of mathematical modeling which allow to calculate turbulent vortex structures, are obtained.

Keywords: model, turbulence parameters, vortex flow.

© Краева Е. М., Масич И. С., 2011

УДК 629.735.017

А. В. Любимцев

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЁТА ТУ-154М ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРЕДВЕСТНИКОВ АВАРИИ

Проанализированы статистические эксплуатационные данные по отказам и инцидентам гидравлической системы самолётного парка Ту-154, по ним определены рейтинги нарушения, толерантная граница перехода нарушения в аварию и выбросы как предвестники аварии.

Ключевые слова: предвестники аварии, безопасность, летная эксплуатация, рейтинги нарушений, отказы.

В настоящее время общепризнанно, что безопасность сложных технических систем является одним из важнейших факторов неценовой конкурентоспособности. На стадии эксплуатации технических систем вопросы вероятностного анализа безопасности не получают достаточно полного отражения в теории и практике обеспечения безопасности. Одно из следствий такого положения – разрыв между процессами управления проектированием и эксплуатацией, выраженный, в частности, в использовании различных несовместимых показателей безопасности. Тем самым нарушается системный подход сквозного управления качеством продукции, охватывающий все стадии жизненного цикла потенциально опасного объекта. Роль вероятностного статистического анализа на стадии эксплуатации иная, чем на стадии проектирования. Это объясняется тем, что поскольку объект уже изготовлен, то анализ направлен на выяснение того, отвечает он требованиям безопасности или нет. Если объект не отвечает установленным требованиям к безопасности, то очень важно выявить этот факт достаточно быстро, пока не произошла авария. В этом случае необходима экстренная разработка корректирующих мер, направленных на повышение безопасности. В условиях ограниченности ресурсов, корректирующие меры должны быть чётко обоснованы, чтобы не допустить распыления ресурсов. Поэтому разработка научных подходов оперативного управления безопасностью и методологии управления риском аварий с использованием вероятностного анали-

за в процессе эксплуатации представляются актуальными проблемами.

В работе рассматриваются методы обеспечения безотказности сложных технических систем. Основное внимание уделяется системным методам качественного анализа безотказности, таким как «дерево отказов», методу анализа характера и последствий потенциальных отказов, обнаружению предотказного состояния и предотвращению отказов в эксплуатации. Рассмотрены современные методы вероятностного расчета риска.

Однако применение соответствующих методов в практике анализа систем недостаточно обосновано. Поэтому возникла необходимость выполнения исследований, направленных на разработку методики применения указанных методов на практике и выполнения риск-анализа систем самолётов.

Как правило, для анализа безопасности на стадии эксплуатации оперируют обычными, традиционно используемыми показателями надежности, такими как вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ, параметр потока отказов. Для полной и корректной характеристики безопасности в эксплуатации их явно недостаточно, так как они не определяют тяжесть нарушений в эксплуатации. Между тем степень возможной близости нарушения к аварии является важной характеристикой нарушения. Это обуславливает целесообразность применения набора показателей, характеризующих тяжесть нарушений, и соответствующих

методов оценки введенных показателей по эксплуатационным данным. При таком подходе удастся учесть вероятность наступления исходного события, инициирующего нарушение, возможные пути развития нарушения и конечные состояния, а также обеспечить соответствие показателям типа риск [1].

Один из важных аспектов системного анализа безопасности сложных технических объектов при эксплуатации связан с выделением наиболее тяжелых нарушений для последующей выработки эффективных корректирующих воздействий и раннего предупреждения аварий. Нарушения эксплуатации технической системы с наибольшими значениями вероятности перехода нарушения в аварию (наиболее высокими значениями рейтинга) за некоторый фиксированный период эксплуатации называются предвестниками аварий [2].

Рассмотрим особенности расчёта риска и выделения предвестников аварий на примере анализа безопасности гидравлической системы самолётного парка Ту-154М. От гидравлической системы на Ту-154 осуществляется управление гидроусилителями систем управления всеми рулевыми плоскостями, торможением колес, выпуском и уборкой шасси. Отказ этой системы приводит к потере управления лайнером. Согласно статистике Госслужбы Гражданской авиации (ГА) и управления госнадзора за безопасностью полетов к 2009 г. отказы агрегатов в системах воздушных судов (ВС) распределились следующим образом: АиРЭО – 20,6 %, гидросистема – 24 %, системы управления – 17,6 %, двигатель и его агрегаты – 13 %, шасси – 13 %, системы кондиционирования, высотная, противопожарная системы – 10 %, прочие – 3 %. Наиболее часто отказы агрегатов в гидравлических системах происходили на самолетах Ту-154М. Причем эти отказы продолжают повторяться из года в год, и их число неуклонно растет. В 2008 г. имело место 7 инцидентов, связанных с гидросистемой, в 2009 г. их было уже 14.

Всякое нарушение нормальной эксплуатации систем (ННЭ) обуславливается полным либо частичным отказом агрегата системы. Отказ может быть следствием конструктивно-производственных недостатков либо нарушений, допущенных при техническом обслуживании. Этот отказ может рассматриваться в качестве исходного события (ИС). Он является источником последующего развития событий, которые могут развиваться с различными вероятностями и по различным сценариям в аварию. Характер сценариев зависит от большого числа факторов, к которым можно отнести этап полета, атмосферные условия, уровень загрузки самолета, остаток топлива, возможность и вероятность отказов других агрегатов и т. п.

Анализ развития ИС в аварийную последовательность исходов удобно выполнять с использованием метода «дерева событий». «Дерево событий» представляет собой граф, включающий исходное событие, промежуточные события и конечные состояния. Граф наглядно показывает возможные пути развития аварийной последовательности. «Дерево событий» строится с целью анализа последствий некоторого исходного события – I_0 , которое изображается в основании дерева, представляющего собой логическую диаграмму, которая определяет множе-

ство конечных состояний объекта, каждое из которых является реализацией определенных сочетаний промежуточных событий, могущих повлиять на процессы развития аварии при заданном ИС.

Для каждого нарушения, неисправности или отказа агрегата гидросистемы, выделим N возможных аварийных последовательностей (АП), пронумерованных как $E_1, \dots, E_N$, и для каждой из них рассчитаем соответствующую условную вероятность Q_i ($i = 1, \dots, N$) перехода нарушения в аварию. Другими словами каждому нарушению, которое является исходным событием, поставим в соответствие N вероятностей перехода этого нарушения в аварию. Авария может наступить при реализации любой из N несовместных аварийных последовательностей. Таким образом, авария – это событие (в вероятностном смысле), которое является суммой несовместных событий $E_1, \dots, E_N$. Следовательно, вероятность аварии Q_{i_0} описывается формулой

$$Q_{i_0} = \sum_{i=1}^N Q_i (E_i / I_0), i = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где $Q_i(E_i / I_0)$ – вероятность реализации i -й АП для данного ИС.

Тогда полная (безусловная) вероятность аварии при наступлении исходного события I_0 может быть рассчитана по выражению:

$$R(I_0) = P(I_0) (E_i / I_0), i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

где $P(I_0)$ – вероятность наступления исходного события I_0 .

Графически «дерево событий» изображается в виде таблицы состояний и дихотомического правостороннего дерева.

В качестве примера построим «дерево событий» и рассчитаем вероятность исходного события на примере отказа, связанного с многоочаговым усталостным разрушением корпуса гидравлического насоса НП-89 первого двигателя. Тяжесть данного нарушения надо оценивать в виде вероятности возможного перехода его в аварию. Проанализируем потенциальные аварийные последовательности, которые могли бы реализоваться в процессе развития такого нарушения и рассчитаем их соответствующие риски.

Гидронасос НП-89 служит для создания и поддержания рабочего давления в гидросистеме. Гидронасос плунжерной конструкции приводится в действие от коробки приводов двигателя [3]. Более 50 % всех инцидентов, связанных с отказами гидросистем самолетов Ту-154, были обусловлены низкой надежностью гидронасосов НП-89. За последние годы произошло более 100 случаев отказов насосов. Отказы отмечаются как на новых, так и на отремонтированных агрегатах в пределах существующего межгарантийного и назначенного ресурсов.

В основание дерева поместим наше исходное событие «многоочаговое усталостное разрушение корпуса гидравлического насоса НП-89». Аварийное состояние, связанное с разрушением гидронасоса, обусловлено следующими промежуточными событиями:

– I_1 : значительной потерей гидрожидкости из бака первой и второй гидросистем с последующим падением давления в них до 150 кг/см² и одновременным загоранием светосигнализатора «падения давления в ГС»;

– I_2 : работа второго НП-89 первой гидросистемы на втором двигателе в условиях масляного голодания, вызывающего кавитационный износ его узлов, создание условий для отказа второго НП-89 из-за заклинивания, и срез шлицевой муфты привода гидронасоса из-за масляного голодания;

– I_3 : утечки масла из коробки приводов, в результате разрушения корпуса гидронасоса, что приводит к отказу двигателя;

– I_4 : возникновение автоколебаний давления первой гидросистемы линии нагнетания с размахом, значительно превышающим допустимые из-за неравномерной работы НП-89 и разрушение его корпуса.

Исходное событие может привести (но может и не привести) к последующим событиям, непосредственно обусловленным ИС, которые называются событиями первого уровня. Каждое из событий первого уровня может вызвать (или не вызвать) последующие события, непосредственно им обусловленные. Другими словами, строим логическую диаграмму, которая определяет множество конечных состояний объекта, каждое из которых является реализацией определенных сочетаний промежуточных событий, которые могут повлиять на процессы развития аварии при заданном ИС.

Таким образом, для рассматриваемого исходного события I_0 выделено девять несовместных аварийных последовательностей $E1, \dots, E9$. Вероятности реализаций каждого пути развития аварии определяем по формуле вероятности произведения независимых событий:

$$P(E1/I_0) = 0,99994 \cdot 0,99999 \cdot 0,999999 \cdot 0,999999 \approx 0,99999.$$

Вероятности реализаций других восьми аварийных последовательностей приведены ниже:

$$\begin{aligned} P(E2/I_0) &\approx 9 \cdot 10^{-7}; P(E3/I_0) \approx 3 \cdot 10^{-15}; \\ P(E4/I_0) &\approx 6 \cdot 10^{-6}; P(E5/I_0) \approx 1,2 \cdot 10^{-11}; \\ P(E6/I_0) &\approx 1,2 \cdot 10^{-11}; \\ P(E7/I_0) &\approx 1,3 \cdot 10^{-17}; P(E8/I_0) \approx 5 \cdot 10^{-17}; \\ P(E9/I_0) &\approx 6 \cdot 10^{-17}. \end{aligned}$$

Следующим шагом вычисляются вероятности аварии при наступлении каждого соответствующего исходного события. Так как аварийные последовательности, приводящие к аварии, несовместны, то условная вероятность перехода нарушения в аварию $Q(I_0)$ для исходного события I_0 определится как сумма вероятностей реализации АП:

– для первой аварийной последовательности

$$\begin{aligned} Q1(I_0) &= 9 \cdot 10^{-7} + 6 \cdot 10^{-6} + 1,2 \cdot 10^{-11} + \\ &+ 1,2 \cdot 10^{-11} + 3 \cdot 10^{-15} = 0,000\,006\,09. \end{aligned}$$

Тогда полная (безусловная) вероятность аварии при наступлении исходного события I_0 примет вид

$$R1(I_0) = P1(I_0) \cdot Q1(I_0) = 10^{-5} \cdot 6,09 \cdot 10^{-6} = 6,09 \cdot 10^{-11}.$$

Для остальных, рассматриваемых в работе отказов агрегатов, соответствующие вероятности перехода в аварию приведены ниже:

– повышенные по сравнению с установленными техническими условиями силы трения между золотником и гильзой тормозного клапана УГ-92 – $R2(I_0) = 1,6 \cdot 10^{-11}$;

– нарушение целостности цепи питания электромагнитного крана ЭК-47 от электрошины – $R3(I_0) = 2 \cdot 10^{-12}$;

– кратковременное заклинивание золотника золотникового пульта РГ-16А в результате попадания посторонних частиц в рабочую полость – $R4(I_0) = 2 \cdot 10^{-11}$;

– разрушение возвратной пружины золотника крана подачи давления на выпуск-уборку внутренних интерцепторов – $R5(I_0) = 3 \cdot 10^{-11}$;

– обрыв штока-компенсатора усилия рулевого привода РП-59 управления элеронов-интерцепторов – $R6(I_0) = 9 \cdot 10^{-12}$;

– трещина в корпусе гидромотора управления закрывками – $R7(I_0) = 3 \cdot 10^{-12}$;

– разрушение трубопровода подвода гидрожидкости к фильтру – $R8(I_0) = 4,7 \cdot 10^{-12}$;

– разрушение дросселя постоянного расхода – $R9(I_0) = 4,4 \cdot 10^{-11}$;

– усталостное разрушение гидрофильтра – $R10(I_0) = 8 \cdot 10^{-12}$.

Предполагается, что рейтинги нарушений рассмотренных выше отказов $R1 = S(1) \dots R10 = S(10)$ образуют выборку значений рейтинга из бесконечной генеральной совокупности. Полагая, что рейтинг S подчиняется нормальному распределению, в [1] предложено по выборочным характеристикам $\underline{S}$ и Ds ($\underline{S}$ – оценка среднего значения рейтинга, Ds – оценка дисперсии рейтинга) найти такой предел, что с доверительной вероятностью $Y > 0,5$ можно гарантировать попадание большей доли совокупности значений рейтинга в интервал $[0, S_{\text{пр}}]$, где $S_{\text{пр}}$ – в математической статистике определен как верхний толерантный предел. Рассчитывается он по формуле для нормального распределения:

$$S_{\text{пр}} = \underline{S} + k \sqrt{Ds}, \quad (3)$$

где k – толерантный множитель.

Значения толерантного множителя выбирают из таблицы в зависимости от доверительной вероятности – Y и объема наблюдений r . Выбор значений Y и r обусловлен задачами анализа безопасности. Для обеспечения безопасности технических систем значения Y целесообразно выбирать на уровне 0,9 и выше. Количество наблюдений примем равным $r = 10$, тогда толерантный множитель $k = 1,842$.

Значения $\underline{S}$ и Ds вычисляют по формулам [1]:

$$Ds = \sum [S(i) - \underline{S}]^2 / r, \quad (4),$$

$$\underline{S} = \sum S(i) / r. \quad (5)$$

Для значений рейтинга нарушения $S(ti)$, зафиксированного в момент времени ti и не попавшего в этот интервал, справедливо условие $S(ti) > S_{\text{пр}}$ – так называемые выбросы. Таким образом, с высокой доверительной вероятностью Y можно отнести это нарушение к предвестникам аварии. В авиакомпании должны быть приняты меры по недопущению реализации исходных событий, относимых к категории предвестников аварии.

Ниже рассчитаны выборочные характеристики для рассматриваемых отказов гидросистемы:

$$\underline{S} = (ti) / 10 = 0,77 \cdot 10^{-11}, Ds = (ti) - \underline{S}^2 / 10 = 1,2 \cdot 10^{-11}.$$

Тогда значение верхнего толерантного предела $S_{\text{пр}} = \underline{S} + k \cdot \approx 2,98 \cdot 10^{-11}$. Таким образом, с высокой вероятностью можно отнести нарушения $R(1)$, $R(5)$, $R(9)$ к предвестникам аварии, так как значение их рейтингов наруше-

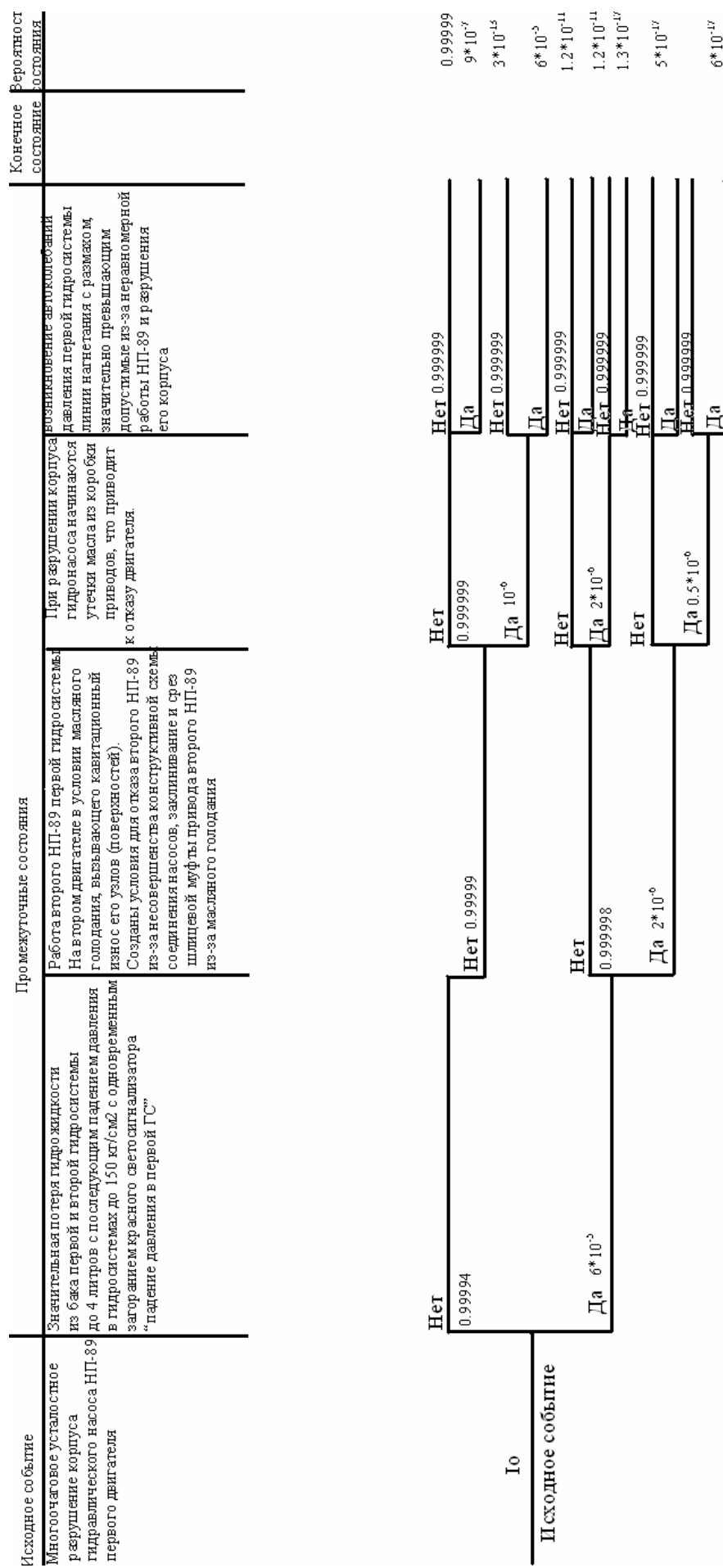


Рис. 1. «Дерево событий», реализующееся при разрушении корпуса НП-89

ний резко выделяется из других значений, которые лежат ниже $S_{пр}$.

На практике выделение нарушений – предвестников аварии удобно проводить с помощью контрольной карты безопасности, под которой понимают отображение последовательности нарушений в виде временного ряда значений рейтинга нарушений на координатной сетке.

Таким образом, роль контрольной карты безопасности состоит в накоплении информации о нарушениях и наглядном выделении нарушений – предвестников аварии (рис. 2).

Отработка методик выявления предвестников аварии, вызываемых конструктивно-производственными недостатками, ошибками исполнителей при техническом обслуживании агрегатов, ошибками экипажей при технической и летной эксплуатации систем будет способствовать повышению безопасности полетов.

Библиографические ссылки

1. Александровская Л. Н., Аронов И. З. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. М. : Логос, 2001.

2. Аронов И. З. Современные проблемы безопасности технических систем и анализа риска // Стандарты и качество. 1998. № 3.

3. Безопасность полетов : учебник для вузов / Р. В. Сакач, В. Н. Голего, М. Ф. Давиденко и др. М. : Транспорт, 1989.

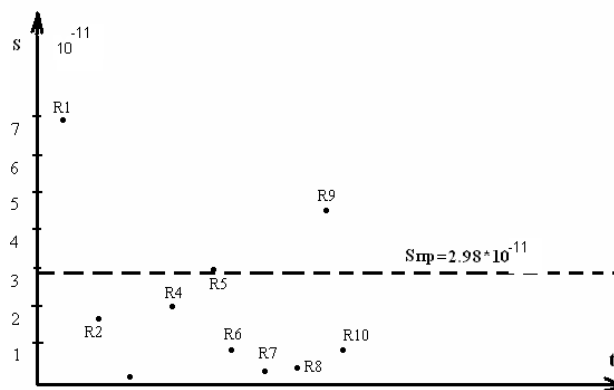


Рис. 2. Контрольная карта безопасности гидравлической системы самолета ТУ-154 по результатам выделения предвестников аварии

Таблица 1

Значения толерантного множителя k

γ	P	$r = 10$	$r = 15$	$r = 20$	$r = 30$
0,80	0,80	1,096	1,035	1,002	0,965
	0,90	1,665	1,573	1,523	1,467
	0,95	2,140	2,022	1,957	1,886
	0,99	3,024	2,845	2,766	2,668
0,90	0,80	1,210	1,124	1,076	1,024
	0,90	1,842	1,710	1,637	1,558
	0,95	2,365	2,196	2,102	2,000
	0,99	3,345	3,105	2,973	2,828
0,95	0,80	1,316	1,205	1,143	1,075
	0,90	2,003	1,833	1,739	1,636
	0,95	2,572	2,353	2,234	2,100
	0,99	3,638	3,328	3,159	2,970
0,99	0,80	1,539	1,373	1,282	1,181
	0,90	2,342	2,089	1,950	1,797
	0,95	3,007	2,683	2,504	2,308
	0,99	4,252	3,794	3,540	3,263

A. V. Lyuibimtsev

SECURITY ANALYSIS OF AIRPLANE TU-154M HYDRAULIC SYSTEM AS A RESULT OF DETECTION OF ACCIDENT MESSENGERS

In the article the authors analyze statistical performance data on failures and incidents of airplane Tu-154M hydraulic system, taken as basis for identification of violations with the highest probability values of transition into accident, and blowouts as accident messengers.

Keywords: breakdown hurbingers, safety, flight exploitation, violations ratings, breakdowns.

Н. В. Никушкин, П. Р. Чирков, А. В. Кацура, Л. А. Аешина

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ АДАПТИВНОЙ ПАНЕЛИ КРЫЛА ЭКРАНОПЛАНА

Выполнено исследование движения крыла экраноплана с адаптивной оболочкой над взволнованной поверхностью, определены собственные частоты, резонанс гибкой панели крыла, коэффициенты демпфирования.

Ключевые слова: экраноплан, эффект экрана, адаптивная панель.

При разработке систем низковысотных ЛА возникает ряд задач по исследованию характеристик морского волнения, для решения которых требуются специальные методы. Это объясняется преимущественно следующими обстоятельствами. Возможные авиационные скорости движения ЛА на порядок превышают скорости водоизмещающих морских объектов, приводят к существенным особенностям формирования спектра морского волнения в движущейся, связанной с объектом системе координат [1].

Установлено [2], что при движении над синусоидальным волновым экраном кривые зависимостей гидродинамических характеристик крыла от времени изменяются не по синусоидальному закону, а по закону, близкому к трохоидальному (рис. 1, 2), а также несимметричность этих кривых относительно вертикалей, проходящих через их максимумы, и их сдвиг по фазе относительно волн экрана [3]. Определено, что средние за период волны значения подъемной силы крыла над волновым экраном превышают по величине значения подъемной силы крыла при его движении над плоским экраном, расположенным на уровне средней линии волны экрана (рис. 3).



Рис. 1. Профиль волны, исследованный в скоростном гидродинамическом канале лаборатории гидромеханики НАН Украины [4]

В работе выполнено исследование крыла экраноплана с адаптивной оболочкой движущегося над взволнованной опорной поверхностью. Изменение геометрии профиля крыла приводит к изменению подъемной силы и предотвращает уход ЛА от заданного режима полета. Изменение геометрии профиля происходит из-за разности давлений $F = P_{\text{вн}} - P_{\infty}$: во внутренней полости, образующийся действием разности набегающего потока и скоростью истечения через дренажные клапаны и статического давления $-P_{\text{вн}} = \rho \frac{(V_{\infty} - V_{\text{дренаж}})^2}{2} + \rho gh$; давлением потока под крылом $P_{\infty} = \rho \frac{V_{\infty}^2}{2} (1 + \Delta C_p)$ и упругости панели нижней, гибкой оболочки C_{EJ} (рис. 4).

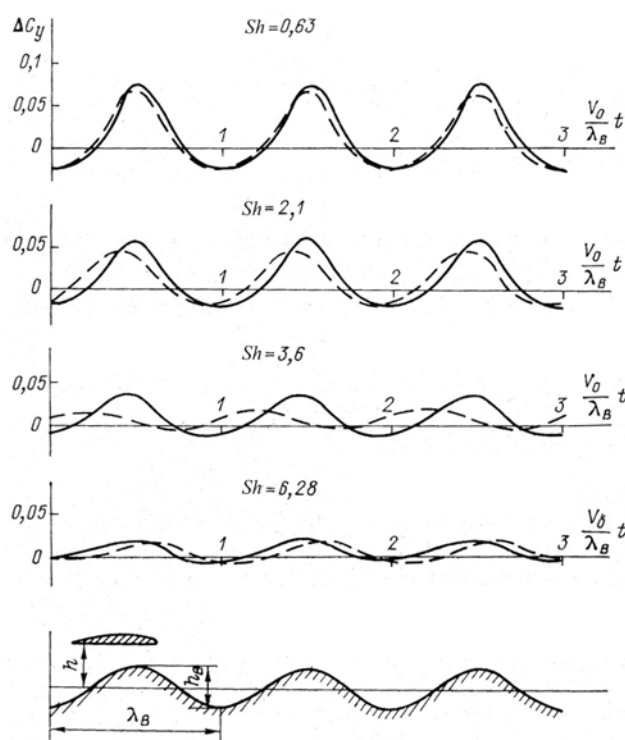


Рис. 2. Изменение подъемной силы крыла конечного размаха при движении над взволнованной поверхностью или вблизи волнистой твердой стенки при различных числах Струхала по частоте встречи с волной ($\lambda = 1$; $\bar{h} = 0,2$; $h_0 = 0,1$; $\alpha = 5^\circ$) [5]

В работе [7] представлены экспериментальные, в работе [8] – расчетные значения распределения давления в среднем сечении прямоугольных крыльев удлинением $\lambda = 5$ при различных расстояниях от экрана (рис. 5), а в

работе [9] приведена аппроксимация экспериментальных зависимостей изменения давления ΔC_p серии профилей (CLARK-YH, CLARK-Y, NASA, ЦАГИ серии В) в диапазоне относительной высоты $\bar{h} = 0,1-1$ и угла атаки $\alpha = 4-14^\circ$:

$$\Delta C_p = 0,32634 + 0,00961 \alpha - 0,55582 \bar{h} + 0,02225 \alpha \bar{h} - 0,001 \alpha^2 + 0,33539 \bar{h}^2.$$

Сведения из [7–9] использованы в работе для определения величин и зон приложения нагрузок и сил на панель адаптивного крыла экраноплана [10].

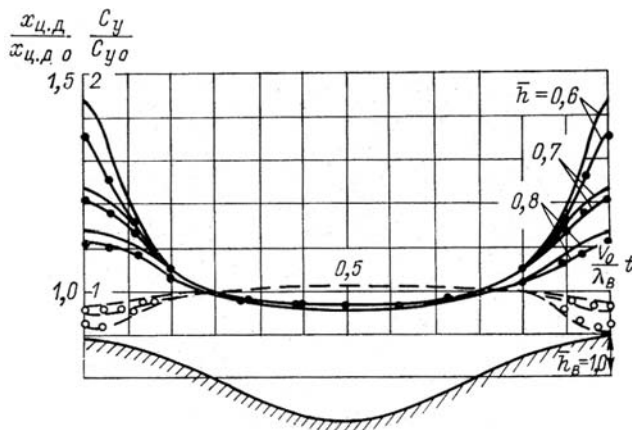


Рис. 3. Результаты расчетов подъемной силы (1) и положения центра давления (2) крыла с удлинением $\lambda = 2$ при $Sh = 0,314$ и движении вблизи волнистой твердой стенки. Кривые – расчетные данные, точки – экспериментальные [6]

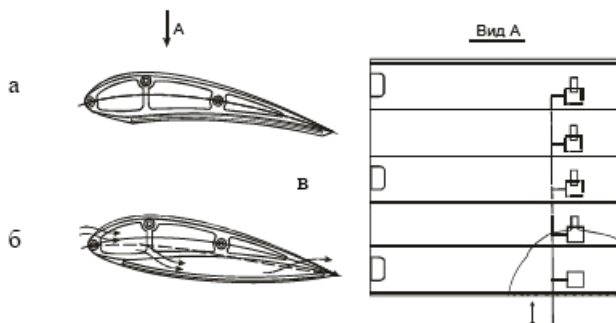


Рис. 4. Схема крыла экраноплана [6]

В настоящей работе предлагается метод оценки динамической устойчивости конструкции адаптивного крыла [10], движущегося над взволнованной поверхностью по критериям собственных частот конструкции и определения зон резонансных частот.

Расчетную схему крыла определяем как двухопорную балку с шарнирной и скользящей опорами, находящуюся под действием распределенного статического давления внутри крыла и вибрационной нагрузки, изменяющейся по трохoidalному закону, со стороны опорной поверхности (рис. 6).

Динамический расчет панели крыла на действие возмущающей силы и колебания выполняется для балки на двух опорах массой m_0 . Определим максимальные динамические напряжения при действии на балку равнодействующей распределенной воздушной нагрузки q_v в точке с координатой x_m ; собственную частоту колебаний с

учетом массы балки и сосредоточенной силы в точке; перемещение точки x_m балки под действием возмущающей силы $F(t)$, приложенной в этой точке.

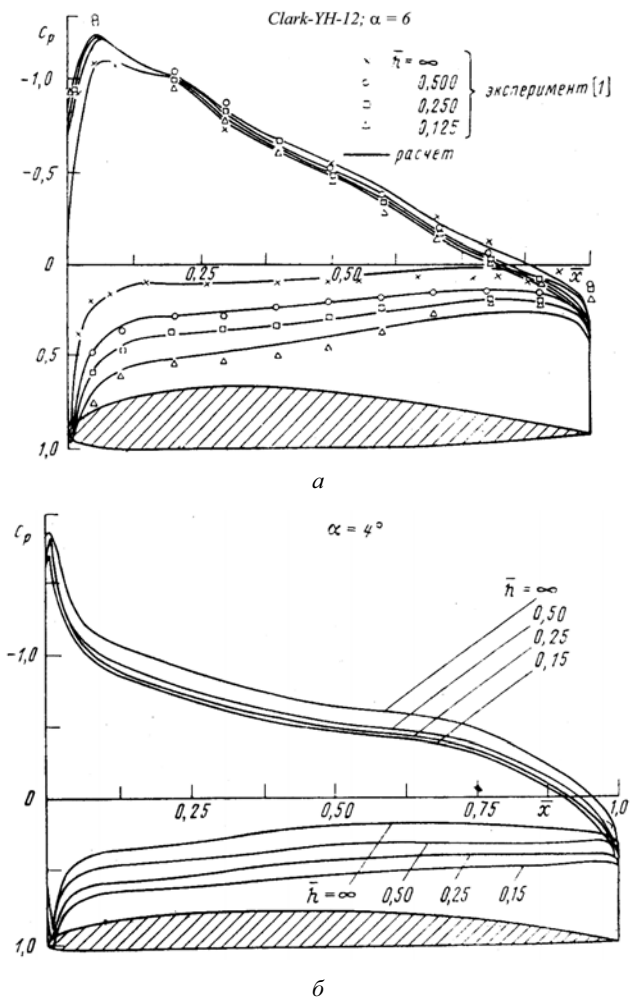


Рис. 5. Распределение давления в среднем сечении прямоугольных крыльев удлинением $\lambda = 5$ при различных расстояниях от экрана: а – по данным [7]; б – по данным [8]

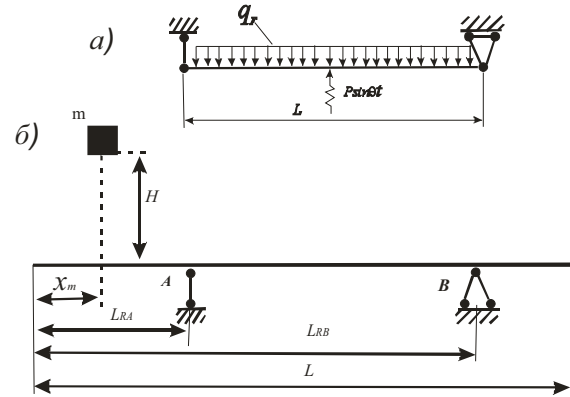


Рис. 6. Схемы балки: а – схема нагружения; б – расчетная схема [11]

В расчетной схеме можно менять положение опор на балке (L_{RA} и L_{RB}) и координату точки приложения распределенной воздушной нагрузки x_m . Для панели задаются модуль Юнга E и плотность ρ материала панели. Определяем площади поперечных сечений $A(x)$, момент инерции $J(x)$ и массу панели (балки) m_0 .

Для динамического расчета балки как системы с одной степенью свободы определяется коэффициент приведения массы в точку действия сосредоточенной силы x_m . Так как масса панели крыла распределена по длине, система имеет бесконечное число степеней свободы. Чтобы рассмотреть ее как систему с одной степенью свободы [8], распределенную массу заменяем массой, сосредоточенной в точке, и равной по величине равнодействующей воздушной нагрузки P_{qB} , а собственную частоту панели определим как для системы с сосредоточенной массой $m + k_{np} m_0$.

При определении собственной частоты системы с учетом ее массы условием приведения массы является равенство кинетических энергий систем с распределенной $E_{расп}$ и сосредоточенной приведенной $E_{сопр}$ массой:

$$E_{расп} = \int_m \frac{dm \cdot V^2}{2} = \int_L \frac{m_0 dx \cdot V^2}{2l},$$

$$E_{сопр} = k_{np} m_0 V_0^2.$$

Приравняв кинетические энергии $E_{расп} = E_{сопр}$, найдем коэффициент приведения массы

$$k_{np} = \frac{1}{m_0} \int \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 dm.$$

Распределение скоростей по длине балки (V/V_0) неизвестно, поэтому примем гипотезу, что распределение скоростей пропорционально распределению перемещений по длине балки (гипотеза справедлива для достаточно жестких тел при сравнительно малых собственных частотах – до первой собственной частоты), тогда

$$\frac{V}{V_0} \approx \frac{\Delta}{\Delta_0}.$$

Коэффициент приведения массы примет вид

$$k_{np} = \frac{1}{m_0} \int \left(\frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^2 dm, \quad (1)$$

где Δ и V – перемещение и скорость произвольной точки балки; Δ_0 и V_0 – перемещение и скорость приведения массы балки; $dm = \rho A(x) dx$.

Перемещения в этой формуле определяются с помощью интеграла Мора.

Изгибающие моменты для грузового M и единичного $M1$ состояния балки, записанные с использованием булевых операторов условия пакета MathCad, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} M(F, R_A, R_B, x) &= R_A(x - L_{R_A})(x \geq L_{R_A}) + \\ &+ R_B(x - L_{R_B})(x \geq L_{R_B}) - F(x - x_F)(x > x_F), \\ M1(R_A, R_B, xx, x) &= R_A(x - L_{R_A})(x \geq L_{R_A}) + \\ &+ R_B(x - L_{R_B})(x \geq L_{R_B}) - 1(x - xx)(x > xx). \end{aligned} \quad (2)$$

Так как реакции опор на момент записи изгибающих моментов неизвестны, они внесены в список параметров функции. Для $M1$ в списке параметров включена координата точки приложения единичной силы xx , а для M – сила F , так как по ходу расчета необходимо определить M от действия различных сил, поэтому и опорные реакции определяются как функции от силы F . Из условия равновесия определяются опорные реакции панели в грузовом и единичном состоянии (рис. 7).

Коэффициент приведения массы k_{np} определяется перемещением в точке действия равнодействующей воздушной нагрузки (записан с использованием булевых операторов условия пакета MathCad)

$$\Delta(F) = \int_0^L \frac{M(F, R_A(F), R_B(F), x) \cdot M1(R_A(x), R_B(x), x_m, x)}{E \cdot J(x)} dx, \quad (3)$$

и перемещениями в произвольной точке

$$\Delta_x(xx) = \int_0^L \frac{M(F, R_A(F), R_B(F), x) \cdot M1(R_A(xx), R_B(xx), xx, x)}{E \cdot J(x)} dx, \quad (4)$$

С учетом выражений (3) и (4) уравнение (1) примет вид

$$k_{np} = \frac{\rho}{m_0 \cdot \Delta(F)^2} \int_0^L A(x) \cdot \Delta_x(x)^2 dx. \quad (5)$$

Учет внезапного приложения силы на панель крыла оценивается через максимальные динамические напряжения как и при ударе $\sigma_{max,д} = \sigma_{max,стат} k_d$:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta(F)} \frac{1}{1 + k_{np} \frac{m_0}{P_{qB}}}}, \quad (6)$$

где h принимается расстояние от задней кромки крыла до опорной поверхности (см. рис. 2).

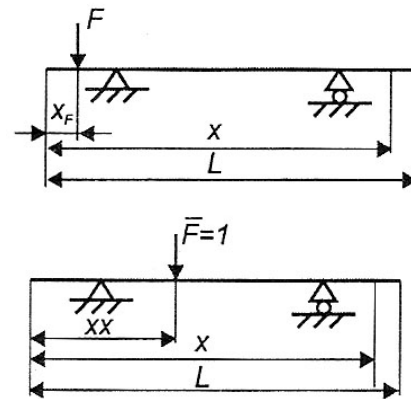


Рис. 7. Грузовое и единичное состояние балки при определении ее перемещений [10]

Максимальные динамические напряжения в панели могут быть определены следующим образом:

$$\begin{aligned} W &= b \frac{\delta^2}{6}; \quad \sigma_{max,стат} = \frac{\max M}{W}; \\ \sigma_{max,д} &= k_d \cdot \sigma_{max,стат}, \end{aligned} \quad (7)$$

где b и δ – ширина и толщина рассчитываемой панели крыла.

Собственную частоту колебаний панели с распределенной массой m_0 и сосредоточенной силой P_{qB} , приложенной в сечении x_m , найдем как

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{P_{qB} + k_{np} \cdot m_0}},$$

где $k = \frac{1}{\delta_{11}}$ жесткость панели – величина, обратная перемещению точки приложения сосредоточенной силы от единичной силы $\delta_{11} = \sum \int_L \frac{M1^2 dS}{E \cdot J}$.

По значению собственной (круговой) частоты ω определяем:

- частоту колебаний панели $f = \frac{\omega}{2\pi}$;
- период колебаний $T = 2 \frac{\pi}{\omega}$.

Вынужденные колебания панели под действием возмущающей силы можно определить через опытное значение коэффициента затухания h , значения относительного коэффициента затухания h/ω (по экспериментальным данным: для стальных конструкций $h/\omega \sim 0,02$; для автомобильного амортизатора – 0,2; гидробуфера – > 1 . В большинстве случаев – $0,01 < h/\omega < 0,3$).

Уравнение колебательного движения системы (см. рис. 6) имеет вид

$$u(t) = A \cdot e^{-ht} \sin(\omega t + \varepsilon),$$

$$\text{где } A = \sqrt{u_0^2 + \frac{(V_0 + h \cdot u_0)^2}{\omega^2}}, \quad \varepsilon = \arctg\left(\frac{u_0 \lambda}{V_0 + h \cdot u_0}\right),$$

$$\lambda = \omega \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h}{\omega}\right)^2},$$

где u_0 , V_0 – начальные условия свободных колебаний (перемещение и скорость в момент действия импульса силы); ω – резонанс; λ – частота гармонических затухающих колебаний.

Свободные колебания панели крыла представлены на рис. 8.

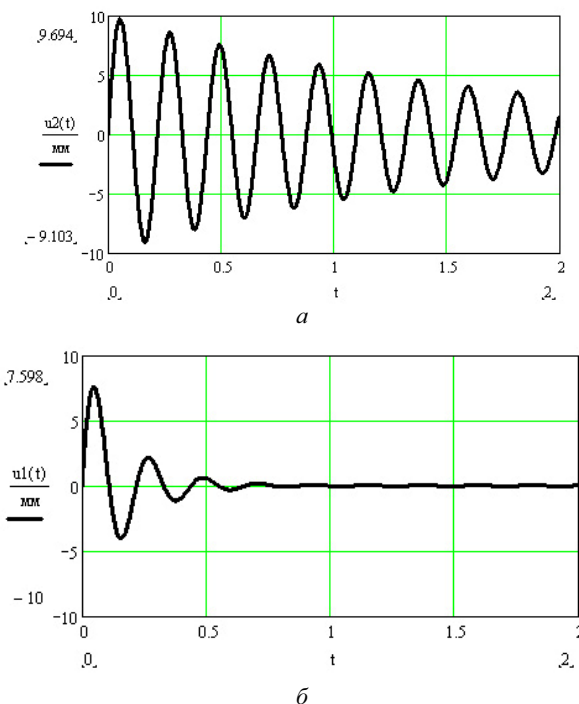


Рис. 8. Свободные колебания панели крыла:
а – без амортизатора; б – с амортизатором

Например, (рис. 8, а, б), для уменьшения времени затухания колебаний в конструкцию крыла в середине пролета введен амортизатор панели с $h/\omega = 0,2$.

Для определения отклика панели на возмущающее действие силы использован интеграл Дюмеля для вынужденных затухающих колебаний:

$$u(F, t) = \frac{1}{(P_{qv} + k_{np} m_0) \omega} \int_0^t F(\tau) e^{-h(t-\tau)} \sin[\omega(t-\tau)] d\tau.$$

Это перемещение точки приведения масс в вертикальном направлении от действия возмущающей силы $F(t)$ (в работе принят трохоидальный закон изменения возмущающей силы [1]: $F(t) = F_0 (r - h \cos(vt))$, $F_0 = P_{qv} \frac{C_y}{C_{y0}}$ (см. рис. 3) [6], где v – частота действия возмущающей силы) (рис. 9).

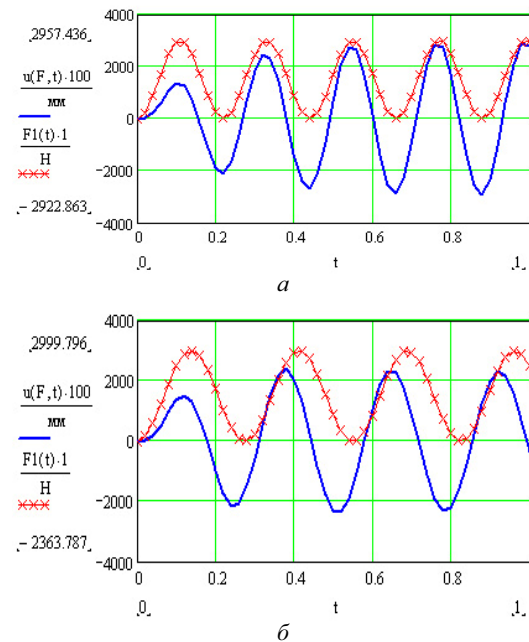


Рис. 9. Вынужденные колебания панели крыла с амортизатором: а – резонанс $\lambda = \omega$;
б – выход из резонанса $\lambda = 0,8 \omega$

Меняя выражения для возмущающей силы, можно получить графики перемещений для различных видов возмущающей силы (например, синусоидальный закон $F(t) = F_0 \sin(vt)$) (рис. 10).

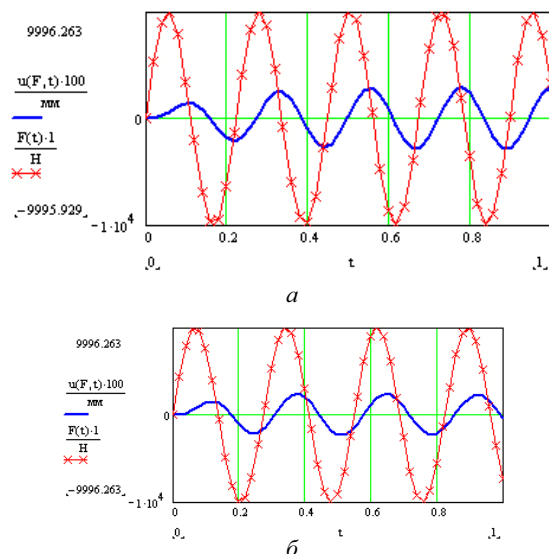


Рис. 10. Вынужденные колебания панели крыла с амортизатором: а – резонанс $\lambda = \omega$;
б – выход из резонанса $\lambda = 0,8 \omega$

Коэффициент динамичности определяется как отношение максимальной амплитуды колебаний при резонансе к статическому перемещению от амплитуды вынужденной силы F_0 :

$$k_d = \frac{u(F, t_{\max})}{\Delta(F_0)}.$$

Максимальные динамические напряжения находятся по формулам (7), что и при внезапно приложенной нагрузке.

В результате выполненного исследования установлено: для компенсации вынужденных колебаний гибкой панели крыла необходимо введение в конструкцию демпфера (амортизатора) с относительным коэффициентом затухания $h/\omega \geq 0,2$ ($\lambda = 0,98 \omega$), в месте наибольших прогибов панели; подбор жесткости колеблющейся системы необходимо осуществить так, чтобы частоты собственных колебаний панели были выше опасных вынужденных частот; увеличение коэффициента k жесткости панели достигается подкрепляющим действием продольного набора стрингеров, увеличивающего $E \cdot J$ изгибную жесткость панели (хотя и в меньшей степени, чем поперечный набор, но дающий большую чувствительность (гибкость) панели в реакции на внешнее возмущающее действие давления потока под крылом P_∞ , изменяющимся по трохоидальному закону) для выполнения условия непопадания в резонанс $\lambda = 0,8\omega$, значение коэффициента затухания должно соответствовать величине $h \geq 0,6\omega$ собственной частоты системы, что требует наличия нескольких демпфирующих устройств.

Библиографические ссылки

1. Небылов А. В. Измерение параметров полета вблизи морской поверхности / СПбГААП. Сб., 1994.

2. Максимальные и средние значения гидродинамических характеристик крыла, движущегося над неплоским экраном / В. Г. Белинский, П. И. Зинчук, В. Н. Незнамов и др. // Гидромеханика. 1974. № 29. С. 43–45.

3. Влияние формы неплоского экрана на гидродинамические характеристики движущегося над ним крыла / В. Г. Белинский, П. И. Зинчук, В. Н. Незнамов и др. // Гидромеханика. 1975. № 31. С. 28–32.

4. Лаборатория гидродинамики НАН Украины [Электронный ресурс]. URL: www.hydromech.kiev.ua/rus/gidrostend/index-gidro.htm.

5. Басин М. А., Шадрин В. П. Гидроаэродинамика крыла вблизи границы раздела сред. Л.: Судостроение, 1980.

6. О влиянии числа Струхала на характеристики крыла вблизи волнового экрана / В. Г. Белинский, П. И. Зинчук, В. Н. Незнамов и др. // Гидромеханика. 1975. № 31. С. 32–35.

7. Серебрянский Я. М., Биячуев Ш. А. Исследование в трубе горизонтального установившегося движения крыла на небольших расстояниях от земли: тр. ЦАГИ, 1939, Вып. 437.

8. Архангельский В. Н., Коновалов С. И. Расчетное исследование влияния параметров профиля на его аэродинамические характеристики вблизи экрана: труды ЦАГИ, 1985. Вып. 2304.

9. Чирков П. Р. Влияние адаптации геометрии профиля крыла на устойчивость экраноплана: дисс. ... канд. техн. наук / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006.

10. Коваленко Г. Д., Шаймарданов Л. Г., Никушкин Н. В. Крыло экраноплана: а. с. № 1189026 от 24.04.1984 г.

11. Макаров Е. Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad. СПб.: БХВ Петербург, 2004.

N. V. Nikushkin, P. R. Chirkov, A. V. Katsura, L. A. Aeshina

DYNAMIC STABILITY OF AN ADAPTIVE WING PANEL OF A WIG-BOAT

In this work we investigated the movement of an adaptive wing panel of a WIG-boat above rough surfaces and determined natural frequencies, resonance of flexible wing panels and damping factors.

Keywords: wing-in-ground effect ship, wing-in-ground effect, adaptive wing panel.

© Никушкин Н. В., Чирков П. Р., Кацура А. В., Аешина Л. А., 2011

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ПОЛЕТОВ ЭКИПАЖЕМ САМОЛЕТА АН-24

Выполнен статистический анализ безопасности парка однотипных самолетов в период эксплуатации с использованием n-метода.

Ключевые слова: безопасная эксплуатация, анализ нарушений, предвестники аварий.

Один из важных аспектов системного анализа безопасности сложных технических объектов при эксплуатации связан с обоснованием наиболее тяжелых нарушений для последующей выработки эффективных корректирующих воздействий. Эта задача является основной в рамках оперативного управления безопасностью технических систем в условиях ограниченности ресурсов. В такой ситуации орган оперативного управления безопасностью или лицо, принимающее решение, в первую очередь должны вкладывать средства в устранение коренных причин, наиболее существенных именно для безопасности нарушений.

Нарушения эксплуатации технической системы с наиболее высокими значениями рейтинга (т. е. с наибольшими значениями вероятности перехода нарушения в аварию) за некоторый фиксированный период эксплуатации называются предвестниками аварии [1]. Таким образом, поставленная задача выделения важных для безопасности объекта нарушений может быть переформулирована в аспект определения предвестников аварий. Введение в практику анализа безопасности нарушений – предвестников аварий решает важную задачу раннего предупреждения аварий, т. е. прогнозирования безопасности.

На практике выделение нарушений – предвестников аварии удобно проводить с помощью контрольной карты безопасности, под которой понимают отображение последовательности нарушений в виде временного ряда значений рейтинга нарушений на координатную сетку [1]. Контрольная карта безопасности обеспечивает накопление информации о нарушениях и наглядном выделении нарушений-предвестников аварии.

Формат контрольной карты представляет собой координатную сетку, по горизонтальной оси которой откладывают периоды наблюдений (эксплуатации) T , а по вертикальной – число нарушений нормальной эксплуатации (ННЭ) за этот промежуток эксплуатации. Кроме того, на контрольной карте указывают центральную линию, которая характеризует среднее число ННЭ за период наблюдений, и две контрольные границы – нижнюю LCL и верхнюю UCL , характеризующие предельные границы для процесса изменения числа ННЭ в случае действия случайных причин.

Расчет значений LCL и UCL основывается на предположении, что число ННЭ подчиняется биномиальному распределению, а контрольные границы находятся на расстоянии $\pm 3\sigma$ от центральной линии, где $\sigma^2 = n(1-q)$ – выборочная дисперсия числа ННЭ. Таким образом, получим следующие формулы:

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{k}; \quad (1)$$

$$LCL = \bar{n} - 3\sqrt{n(1-q)} \geq 0; \quad (2)$$

$$UCL = \bar{n} + 3\sqrt{n(1-q)} \geq 0, \quad (3)$$

где k – число периодов эксплуатации T , по которым строится контрольная карта; N – объем парка, который принимается постоянным.

Если в результате расчета $LCL < 0$, то при построении контрольной карты принимается, что $LCL = 0$. Если в результате анализа значений числа ННЭ выявилось, что на каком-то отрезке эксплуатации $T_i (i = 1, \dots, k)$ число ННЭ n_i превышает контрольную границу, то этот факт свидетельствует о том, что безопасность парка объектов снижена и необходимы корректирующие меры для изменения ситуации в лучшую сторону.

Если в нормативной документации задано критерияльное значение $[n] = n_0$, то линии на контрольной карте вычисляются по формулам:

$$1) \text{ центральная линия: } \bar{n} = n_0;$$

$$2) LCL = n_0 - 3\sqrt{n_0(1-q_0)};$$

$$3) UCL = n_0 + 3\sqrt{n_0(1-q_0)}, \text{ где } q_0 = \frac{n_0}{N}.$$

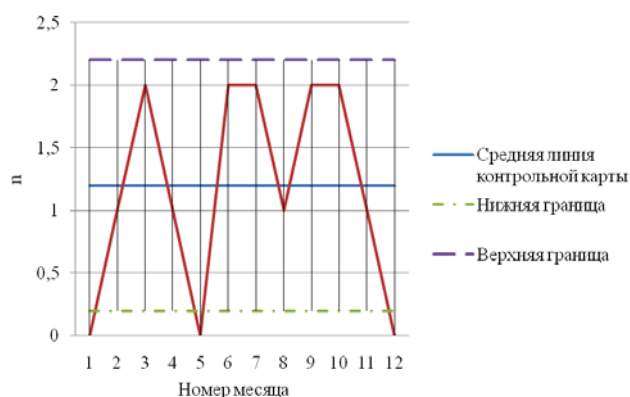
Эти контрольные границы могут быть использованы для анализа будущих периодов эксплуатации. До тех пор, пока значения $n_i (i > k)$ находятся в контрольных границах, можно с высокой вероятностью полагать, что процесс эксплуатации (в аспекте безопасности) находится в управляемых условиях. В таком случае вряд ли какое-либо усовершенствование может быть произведено без изменения самого процесса эксплуатации. Это очень важный вывод, который помогает лучше понять ответственность за причины низкой безопасности.

Данная методика рассмотрена на примере нарушений действий экипажа при выполнении полета. Все нарушения, совершенные экипажем, приведены в табл. 1 [2].

Каждый месяц в течение года в авиакомпаниях выполняется расшифровка записей полетной информации 15 экипажей. В результате расшифровок полетной информации были выявлены нарушения работы экипажа при выполнении полета. Распределения нарушений нормальной эксплуатации выполняются по месяцам, в качестве примера в табл. 2 показано распределение нарушений «нет повтора выпуска закрылков на 15° бортмехаником».

Контрольная карта по отмеченному виду нарушения приведена на рисунке. По остальным нарушениям контрольные карты подобны, и нарушения находятся в пределах контрольных границ.

Анализ контрольных карт показывает, что безопасность эксплуатации Ан-24 в целом обеспечивается. Про-



Контрольная карта нарушения «нет повтора выпуска закрылков на 15° бортмехаником»

цесс эксплуатации находится в управляемом состоянии. Нет выбросов оценок нарушений за пределы UCL , т. е. нет сигналов о выявлении причин опасных нарушений нормальной эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Александровская Л. Н., Аронов Н. З. Статические методы анализа безопасности сложных технических систем. М., 2001.
2. Шаймарданов Л. Г. Эффективность технической эксплуатации самолетов гражданской авиации : учеб. справ. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск. 2004.

Таблица 1

Нарушения действий экипажем при выполнении полета

№	Нарушения действий экипажем	Количество повторов за год
1	Нет повтора выпуска закрылков на 15° бортмехаником	14
2	Нет оценки за 30 м до ВПР бортмехаником	4
3	Нет команды от КВС «садимся»	3
4	В конце полета нет команды от КВС о разборе полетов	12
5	Превышение скорости выпуска шасси за 300 км/ч	4
6	Превышение скорости выпуска закрылков на 15° за 300 км/ч	2
7	Превышение скорости на глиссаде с закрылками 30°	2

Таблица 2

Распределение нарушений «нет повтора выпуска закрылков на 15° бортмехаником»

Номер месяца	Число нарушений	Номер месяца	Число нарушений
1	0	7	2
2	1	8	1
3	2	9	2
4	1	10	2
5	0	11	1
6	2	12	0

P. G. Utenkov

DEVELOPMENT OF TECHNIQUE FOR STATISTICAL ANALYSIS OF SECURITY DURING PERFORMANCE OF FLIGHTS BY PLANE AN-24 CREW

In the work the author performs statistical analysis of safety of one-type planes park during exploitation period with the use of n-method.

Keywords: safe exploitation, violations analysis, breakdown harbingers.

© Утенков П. Г., 2011

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕТА СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Описывается необходимость учета действующего на поверхность космического аппарата (КА) давления солнечного света и теплового излучения Земли. Рассматривается необходимость более точного определения характерной площади КА и её применение. Описывается технология расчета характерной площади современных КА, создание модели поверхности КА и формирование на её основе исходных данных. Оценивается возможность ускорения вычислительного процесса и варианты развития технологии расчета.

Ключевые слова: давление света, характерная площадь, модель поверхности, коэффициент отражения, элементарная площадка, направление падения света, тепловое излучение Земли, затенение, ускорение вычислительного процесса.

Одним из требований для создания современных моделей функционирования навигационной системы является учет давления, оказываемого на поверхность КА тепловым излучением Земли, а также прямым и отраженным от Земли солнечным светом. Под влиянием этих воздействий происходит ощутимое возмущение орбиты КА [1]. Величина возмущения, создаваемая любым из этих воздействий, зависит от его направления, площади и коэффициента отражения поверхности действия. Во время движения навигационного КА по орбите ориентация его корпуса относительно Солнца и солнечных батарей относительно Земли постоянно меняется. КА имеет сложную конструкцию, имеющую ряд подвижных элементов. Внешняя поверхность включает множество элементов с различными формами и коэффициентами отражения. При попадании КА в тень Земли воздействие на него прямого и отраженного солнечного света прекращается. В связи с чем, происходит постоянное изменение направления воздействия, а также площадь и структура поверхности, на которую оно оказывается. В полутенях ситуация промежуточная. Для учета этих воздействий была разработана методика, создана модель поверхности КА и реализован программный комплекс (ПК). ПК позволяет рассчитывать реальную площадь проекции КА (умноженную на коэффициенты отражения незатененных элементов) на плоскость, перпендикулярную заданному направлению (характерную площадь). Эта площадь используется при учете светового давления и прогнозе вектора состояния КА.

В процессе организации расчета реальный КА разбивается на заранее подобранные поверхности и фигуры с заданием коэффициента отражения материала изготовления. Подбор их количества и типа осуществляется последовательным приближением с учетом ограничений вычислительного процесса и погрешности расчета, необходимых при вычислении величины светового и теплового давлений. Для осуществления разбиения используется модель внешней поверхности КА. При ее создании поверхность КА упрощается, сложные поверхности представляются набором простых. Поверхности площадью ниже 25 мм², а также внутренняя структура КА не учитываются.

Для создания модели была применена САПР высокого уровня CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application). Это комплексная система авто-

матизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментальный трехмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации [2].

Система CATIA имеет модульную структуру. В процессе разработки модели поверхности КА был использован модуль механического проектирования, в частности 3 его подмодуля:

- Sketcher (эскиз);
- Part Design (проектирование деталей);
- Assembly Design (проектирование сборок).

Для каждого видимого элемента КА разрабатывается эскиз, из которого средствами модуля Part Design создается деталь. Затем группа деталей средствами модуля Assembly Design собирается в сборку путем накладывания ограничений (совпадение, контакт, фиксация компонента, фиксация вместе). Собранная деталь может являться частью другой сборки или же быть частью основной. В модели установлена точка центра масс (ЦМ) КА, к которой привязана система координат. Относительно ЦМ производится сборка и измерения всех элементов модели. Разработка модели поверхности производится в натуральную величину [3].

Модель КА имеет древовидную структуру. В ее основе лежит сборка, состоящая из двух больших подборок. Каждая подсборка содержит более чем 100 элементов, многие из которых, в свою очередь, являются сборками. Помимо проведения расчетов модель поверхности КА необходима для отладки программного комплекса и позволяет произвести проверку результатов его работы.

Разбиение на поверхности проводится таким образом, чтобы каждая из них состояла из материалов с одинаковым коэффициентом отражения. Используемая модель КА включает 11 видов поверхностей, общее число которых составило 1 500. Из них 698 прямоугольников, 47 треугольников, 297 цилиндров, 38 частей цилиндра, 31 усеченный конус, 167 окружностей, 14 частей окружностей, 8 частей сферы, 180 колец и 21 часть кольца. Для проведения расчетов исходные данные каждой поверхности необходимо загрузить в ПК. Для их формирования используются средства системы CATIA.

С помощью команд «Измерение элемента» и «Измерения между» определяются координаты точек и параметры поверхности, необходимые для ее описания в программном комплексе. Измерения точек проводятся в системе координат, связанной с центром масс КА. Команда «Измерение элемента» позволяет получить размеры и координаты, связанные с выбранным элементом (точки, кромки, поверхности и целые изделия) относительно указанной системы координат. Команда «Измерения между» позволяет измерять расстояние между заданными элементами, минимальное расстояние и угол между двумя поверхностями.

Полученные измерения сохраняются в дереве спецификаций, откуда переносятся в считываемый ПК текстовый файл.

Первоначально перенос ИД из САТИА в текстовый файл осуществлялся в интерактивном режиме. В настоящий момент разработано вспомогательное ПО, позволяющее частично автоматизировать этот процесс. Сборка, содержащая необходимые ИД, сохраняется в виде файла в формате vtml. Файл открывается вспомогательным ПО как текстовой и обрабатывается. В результате обработки формируется файл, содержащий ИД, необходимые для работы ПК. Это значительно ускоряет процесс сбора ИД и снижает вероятность ошибки.

После загрузки в ПК каждая поверхность разбивается на элементарные площадки. Для каждой площадки находится вектор нормали и координаты центра [4]. В целях ускорения вычислительного процесса для плоских поверхностей вектор нормали вычисляется один раз и используется для каждой элементарной площадки. Ориентировочный размер элементарной площадки определяется перед началом расчета и влияет на скорость и точность его проведения. При разбиении каждой поверхности на элементарные площадки размером около 25 мм^2 их общее количество составило более 7 млн точный размер элементарной площадки определяется для каждой поверхности. Разбиение производится таким образом, чтобы поверхности разбивались на равные площадки без остатка.

Каждая элементарная площадка проверяется на затенение всеми поверхностями согласно вычисленному направлению воздействия. Для этого из центра элементарной площадки проводится прямая, параллельная заданному направлению. Затем находится точка пересечения (если такая существует) этой прямой и предположительно затеняющей поверхности. Если точка пересечения принадлежит поверхности, а поверхность находится между затеняемой площадкой и источником света, то площадка считается затененной [4]. Для затененной площадки ставится соответственный признак, и она больше не проверяется на затенение с текущего направления.

Перед началом основной проверки проводится этап предварительного затенения. Положение всех поверхностей проверяется относительно вектора воздействия. Поверхности, не видимые с данного направления, считаются полностью затененными, и для всех принадлежащих им элементарных площадок ставится признак затенения.

После проверки каждой площадки на затенение всеми поверхностями находится проекция каждой незатененной площадки на плоскость, перпендикулярную век-

тору воздействия, и определяется площадь этой проекции, которая при необходимости представляется в графическом виде.

Во время движения КА по орбите он всегда ориентирован относительно Земли и Солнца определенным образом [1]. В программном комплексе реализован алгоритм, определяющий положение КА в пространстве относительно Земли по координатам его ЦМ и Солнца. Это позволяет определить направления действующего на КА теплового излучения Земли, прямого и отраженного солнечного света. Солнечные батареи КА всегда должны быть ориентированы на Солнце максимальной площадью, в связи с чем в ПК реализован алгоритм, меняющий их ориентацию согласно полученному направлению падения солнечного света.

Требуемая точность расчетов порядка сантиметра получается при размере элементарной площадки менее 16 мм^2 . При таком размере элементарной площадки среднее время единичного расчета на ПВМ Intel(R) Core2 Duo CPU E4500 2.2 ГГц, с операционной системой Microsoft Windows XP для ПК, написанного на Microsoft Visual C++ 6.0, составило около 5 минут. В связи с необходимостью расчетов большого количества вариантов была произведена оптимизация технологии и ПК.

Средствами операционной системы с использованием пакетов Microsoft Visual C++ 6.0 и Microsoft Visual C++ 2005 были определены самые используемые части программного комплекса, для которых и проводилась основная оптимизация, включавшая оптимизацию алгоритмов расчета и программного кода, добавление новых компонент, применение более скоростной ПВМ и использование языка программирования Assembler. Это позволило повысить быстродействие ПК примерно в 8 раз.

Перед началом проверки элементарной площадки на затенение проверяется взаимное расположение элементарной поверхности, которой она принадлежит, и предположительно затеняющей поверхности. Если предположительно затеняемая поверхность находится перед затеняющей, или их проекции на плоскость, перпендикулярную вектору воздействия, не пересекаются, то все принадлежащие затеняемой поверхности элементарные площадки не проверяются на затенение.

При учете воздействия прямого и отраженного от Земли солнечного света значение характерной площади некоторых элементов КА остается неизменным. В процессе проведения множественных расчетов характерная площадь этих элементов рассчитывается только один раз и впоследствии используется как постоянная величина. Это дает возможность существенно ускорить вычислительный процесс.

Средства системы САТИА позволяют рассматривать возможность полностью автоматизированного формирования исходных данных.

Во время эксплуатации КА коэффициенты отражения его внешней поверхности под воздействием внешней среды подвергаются деградации. Уровень деградации отражающей способности поверхности зависит от материала ее изготовления и времени воздействия солнечного света. Деградация отражающих поверхностей приводит к существенному изменению силы оказывае-

мого на неё светового давления, в связи с чем возникает необходимость учета деградации в процессе расчета светового давления.

В результате проведенной работы была создана методика учета воздействия солнечного света или теплового излучения Земли на поверхность КА. Для реализации этой методики была разработана модель КА, состоящая из 2 750 поверхностей, и ПК. На основании разработанной модели ПК позволяет определить характерную площадь КА для любого направления воздействия с точностью 5–10 см². Кроме того, была произведена оптимизация ПК, что позволило снизить среднее время расчета для одного направления с 5 мин до 20 с.

Использование разработанной методики позволит учесть воздействие теплового поля Земли, прямого и отраженного солнечного света на КА в любой точке орбиты.

Библиографические ссылки

1. Болдин В. А., Зубинский В. И., Зурабов Ю. Г. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. М. : ИПРЖР, 1998.
2. Assemble Design // Dassult Systemes. 2002.
3. Твердотельное моделирование // Dassult Systemes. 2003.
4. Выгорский М. Я. Справочник по высшей математике. М. : Наука, 1977.

I. I. Shilko

THE ORGANIZATION OF THE LIGHT PRESSURE ON THE SATELLITE SURFACE ACCOUT

The necessity of a sunlight pressure and the Earth heat emission, acting on a satellite surface recording is presented. The necessity of the characteristic satellite area more exact definition and its application are considered. The modern satellites characteristic area calculating method, the satellite surface model creation and the initial data formation on its basis are described. The possibility of the computing process acceleration and the alternatives of the calculating method development are estimated.

Keywords: light pressure, characteristic area, surface model, reflection factor, elemental area, incidence of light direction, the Earth heat emission, shading, computing process acceleration.

© Шилко И. И., 2011

Ю. И. Гордеев, А. К. Абкарян, О. В. Ковалевская

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА, МАТРИЧНО-НАПОЛНЕННЫЕ СВЕРХТОНКИМИ ПОРОШКАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Представлены результаты расчетных и экспериментальных исследований формирования микроструктуры и свойств сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного добавками керамических материалов оксида алюминия (Al_2O_3) различной дисперсности и способа получения.

Ключевые слова: порошки, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, керамика, спекание, прессование, композит.

Проектирование изделий на основе современных композиционных материалов, в том числе на полимерной основе, является одним из важнейших условий улучшения эксплуатационных и экономических показателей изделий и машин.

В настоящее время разработаны такие полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые по своим физико-механическим характеристикам не уступают алюминиевым и титановым сплавам, а их применение позволяет снизить вес изделия, что является актуальным в аэрокосмической отрасли, судостроении, машиностроении, горно-добывающем и нефтегазовом комплексе.

В качестве полимерной матрицы может быть использован сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – материал с повышенными эксплуатационными свойствами: удельная прочность, жесткость, усталостная (циклическая) прочность, высокая износостойкость в условиях низких температур (до $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокая ударная вязкость, сверхнизкий коэффициент трения, высокая стойкость к агрессивным средам, атмосфере и радиационным воздействиям. Уникальные свойства материала, хорошая обрабатываемость и разнообразие вариантов применения позволяют широко использовать его для производства различных деталей в узлах трения, абразивного воздействия и агрессивных сред.

Для повышения эксплуатационных характеристик материала (по прочности, твердости и температуре плавления) предлагается модифицирование СВМПЭ оксидом алюминия.

Целью работы является исследование закономерностей процессов компактирования и формирования структуры материалов на основе СВМПЭ, модифицированного оксидом алюминия различной дисперсности и способа получения.

В процессе работы решались следующие задачи: изучение морфологии исходных порошков; разработка теоретических моделей, описывающих процессы консолидации и структурообразования ПКМ; исследование влияния добавок Al_2O_3 на технологические и физико-механические характеристики ПКМ.

В работе представлены результаты исследований материалов на основе СВМПЭ, полиэтилена с молекулярной массой в области $9,2 \cdot 10^6 \dots 10,5 \cdot 10^6$ г/моль, средний размер частиц 70 мкм и оксида алюминия Al_2O_3 со средним размером частиц 7 мкм и до 0,01 мкм.

Равномерное распределение порошка оксида алюминия достигалось предварительным смешиванием его с порошком СВМПЭ в пропорции 1:5 в шаровой мельнице. Полученная смесь добавлялась в шихту перед окончательным смешиванием. Порошковые смеси прессовались в жесткой матрице пресс-формы при удельном давлении прессования в диапазоне от 2 до 7,5 МПа. Прессование проводилось совместно со спеканием при температурах в диапазоне от 50 до 200 $^{\circ}\text{C}$.

Методами оптической микроскопии (ZEISS Observer.Zlm – Германия) и растровой электронной микроскопии (JEOL JSM-7001F – Япония), рентгеноструктурного анализа (дифрактометр Bruker8 Advance – Германия), дилатометрии, твердости по Бринеллю (портативный тестер ТН160 – Китай) исследовалась морфология исходных порошков СВМПЭ и керамики, влияние различных технологических факторов на конечные свойства изделия из СВМПЭ, модифицированного оксидом алюминия.

На первом этапе работы изучались особенности формирования структуры образцов, полученных из отдельных структурных составляющих компонентов композита под воздействием давления и температур; определялись области, соответствующие существенным изменениям в структуре материала, формированию межчастичных (межзеренных) границ, при которых начинаются интенсивные процессы массопереноса, появлению границ между зернами, частицами порошка и их агломератами.

Типичные изображения морфологии исходных порошков частиц СВМПЭ представлены на рис. 1. Частицы имеют форму, близкую к сферической, и достаточно узкое распределение частиц по размеру (отсутствие пылевидной фракции и крупных частиц размером более 150 мкм). Обращает на себя внимание тот факт, что исходные порошки СВМПЭ со средним размером около 70 мкм не являются монолитными, а состоят из более мелких микронных агломератов, скрепленных нановолокнами (рис. 1, б, в).

Характер уплотнения матричного порошкового материала (СВМПЭ) изучался на специально сконструированной установке для горячего прессования. Для получения образцов было предложено использовать пресс-форму с внешним источником обогрева – миканитовым нагревательным кольцевым элементом производства Германии. Был спроектирован стенд для получения образцов из композиционного материала размерами $17 \times 17 \times 10$ мм с воз-

можно проводить прессование совместно со спеканием при температурах в диапазоне от 50 до 300 °С (рис. 2). Образцы изготовлены при давлении от 2 до 7,5 МПа и температуре 200 °С на гидравлическом вертикальном прессе. Выбор указанного диапазона давлений обусловлен пожеланиями потребителя (Красноярская химическая компания) и объясняется возможностями технологического прессового оборудования.

Эволюция структурообразования СВМПЭ при различных температурах представлена на рис. 3. Полученные данные свидетельствуют, что при повышении температуры нарушаются молекулярные связи (кривые 4, 5). Характерные зависимости изменения плотности прессовок от температуры при давлении 5 и 7,5 МПа и выдержке 5–7 мин представлены на рис. 4.

Немонотонный характер изменения плотности показывает, что существуют определенные интервалы температур, которые соответствуют различным механизмам межфазного взаимодействия. Ориентировочно, от 20 до 70 °С взаимодействие между фрагментами структуры ограничивается только механическим сцеплением и перепакровкой частиц. При температурах от 70 до 90 °С идет, предположительно, жидкоподобная коалесценция.

По-видимому, исходя из графиков (рис. 3, 4), существенные изменения межчастичного взаимодействия с образованием контактных перешейков и границ между отдельными фрагментами структуры происходят при температуре от 120 до 130 °С. Эти предположения косвенно подтверждаются изучением изображений поверхностей компактов (рис. 5).

Изображения структуры излома материалов (рис. 6), свидетельствуют о достаточно своеобразном строении субмикронных и микронных фрагментов структур в виде вытянутых зерен (волокон) со средним диаметром 5 мкм (рис. 6, а, б). Изображение внутриволокнистого строения, полученного с большим увеличением на растровом микроскопе (рис. 6, в), показывает, что структура микронных волокон имеет еще более сложную морфологию (скрученные в жгуты нановолокна), что требует более детального, дополнительного исследования и анализа.

На втором этапе исследований изучались возможности получения композиционных материалов на основе СВМПЭ, модифицированных порошками оксида алюминия (микронных размеров – до 7 мкм и субмикронных – до 0,01 мкм). Керамика, обладающая мелкозернистой структурой, имеет более высокие механические свойства.

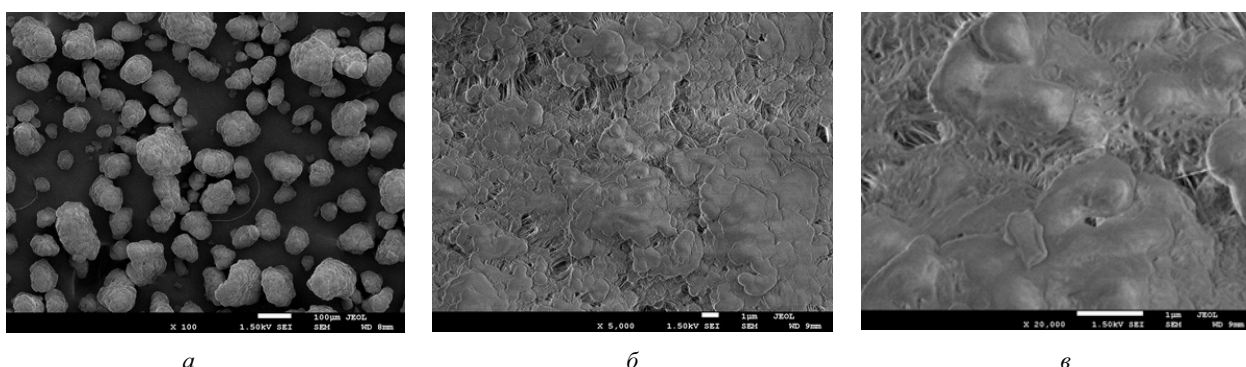


Рис. 1. Морфология порошка СВМПЭ: а – $\times 200$; б – $\times 5\,000$; в – $\times 20\,000$

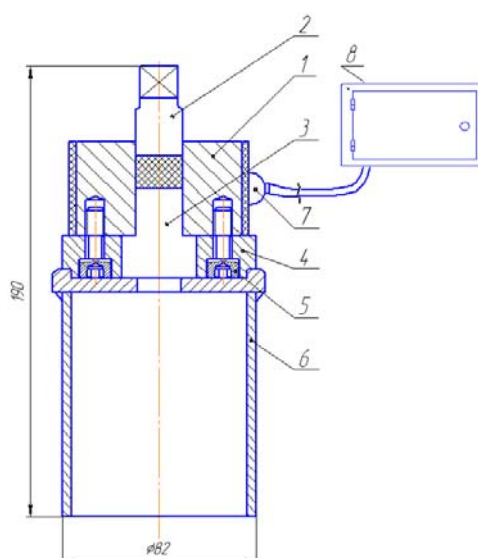


Рис. 2. Эскиз опытной конструкции термопресс-формы:
1 – матрица; 2 – верхний пуансон; 3 – нижний пуансон;
4 – опорная шайба; 5 – крепежные болты;
6 – вилка-выталкиватель; 7 – нагревательное кольцо;
8 – шкаф электроуправления

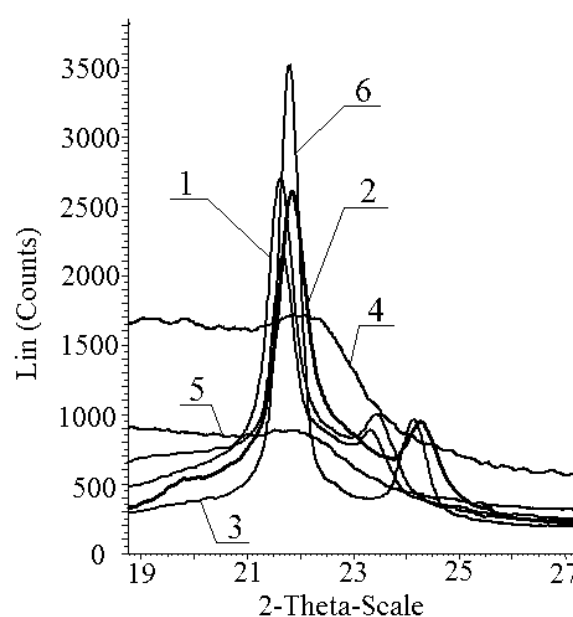


Рис. 3. Дифрактограмма материалов из СВМПЭ при различных температурах: 1 – 20 °С; 2 – 110 °С; 3 – 130 °С; 4 – 140 °С; 5 – 160 °С; 6 – 20 °С

Одной из особенностей оксидной керамики вообще является сохранение высоких прочностных свойств при нагревании до температур, составляющих примерно 0,8–0,9 температуры ее плавления. Сохранение прочности Al_2O_3 при высоких температурах объясняется тем, что связь между ионами в кристаллической решетке настолько прочна, что тепловое движение ионов ослабляет эту связь постепенно и только при больших температурах. Микроструктура керамики на основе субмикронных порошков оксида алюминия приведена на рис. 7.

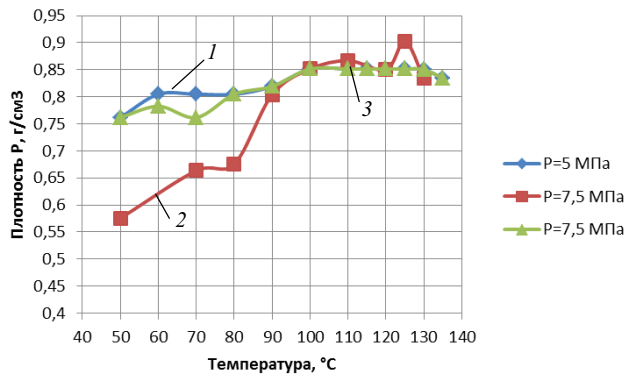


Рис. 4. Зависимость относительной плотности образцов из СВМПЭ от температуры нагрева: 1 – 5 МПа; 2, 3 – 7,5 МПа

Для определения оптимального соотношения СВМПЭ и оксида алюминия была проведена теоретическая оценка особенностей консолидации и формирования структуры композита из смесей с бимодальным распределением частиц по размерам и изучены образцы с различным содержанием масс %.

Исходным и необходимым условием получения плотного образца из смесей с бимодальным распределением частиц по размерам является максимально плотная упаковка частиц разного размера в прессовке. Однако задача получения качественного образца не может быть решена только за счет повышения начальной плотности упаковки. Поэтому задача моделирования структуры и свойств ПКМ требует учета как геометрических, так и энергетических факторов, определяющих направленность и интенсивность протекания процессов массопереноса при спекании. В соответствии с предлагаемым в работе подходом, задача прогнозирования разбивается на две подзадачи: моделирование плотности упаковки исходя из геометрических соотношений частиц СВМПЭ (V_m, d_m) и оксида алюминия (V_f, d_f); моделирование процессов спекания с учетом различий в кинетике массопереноса. Необходимо подчеркнуть, что изменение размеров и объемного содержания частиц различной фракции, а также их «активности» при спекании неизбежно будет приводить к изменению области оптимума.

Единичный объем (V_C) фрагмента структуры прессовки с бимодальным распределением частиц по размерам (d_m, d_f) может быть определен из простого соотношения:

$$V_C = k_m \cdot V_C + (k_p \cdot V_C - k_f \cdot V_C), \quad (1)$$

где k_m – объемная доля частиц СВМПЭ d_m ;

$k_p = 0,20776 \left(\frac{d_m}{2} \right)^3$ – объемная доля пор между частицами СВМПЭ; k_f – объемная доля частиц оксида алюминия d_f . Очевидно, что

$$k_m \cdot V_C = N_m \cdot v_m; \quad k_f \cdot V_C = N_f \cdot v_f;$$

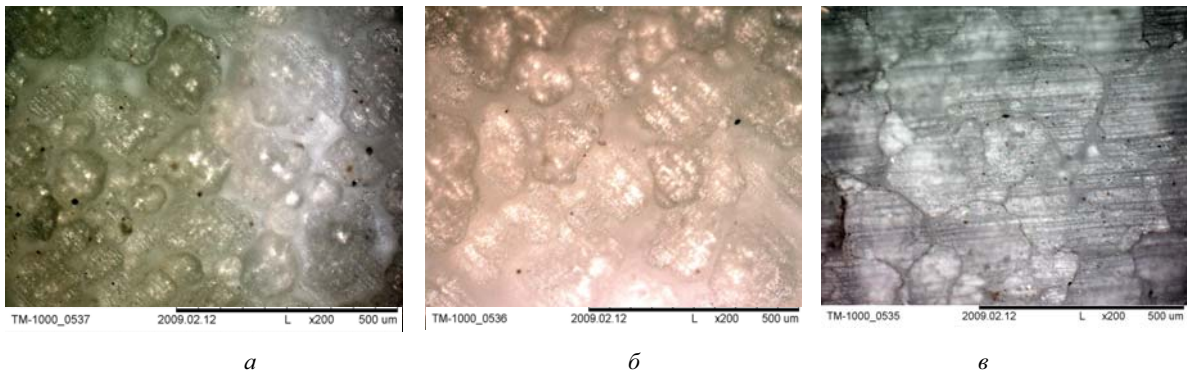


Рис. 5. Метаморфозы микроструктуры компактов в процессе нагрева: а – 50 °C; б – 80 °C; в – 120 °C

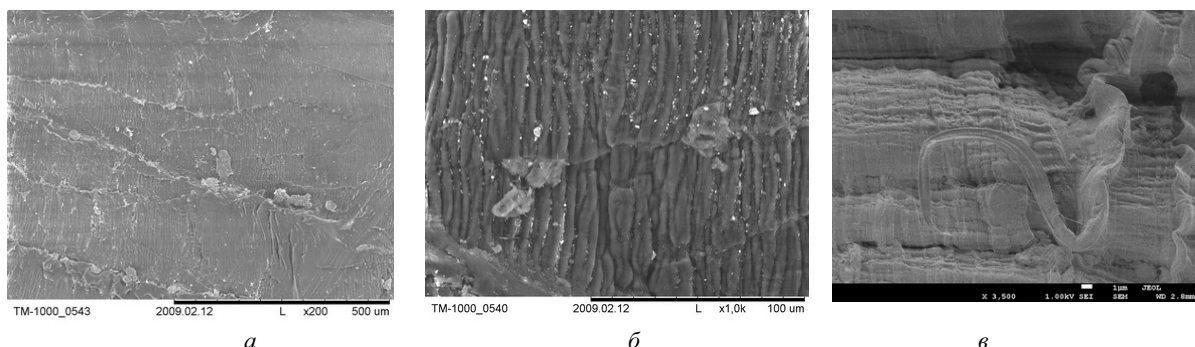
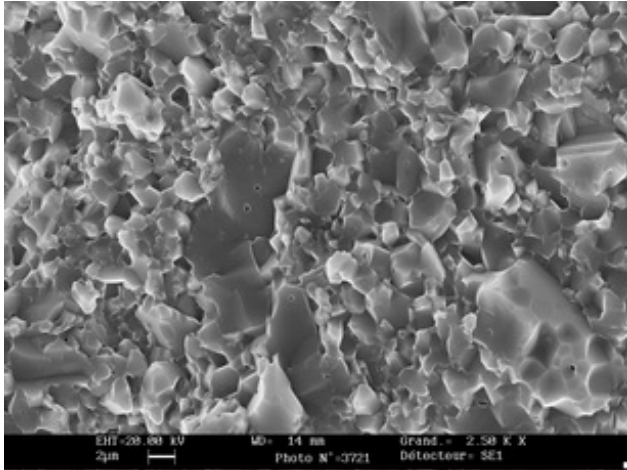


Рис. 6. Характер поверхности излома образцов, после испытания на ударный изгиб: а – $\times 200$; б – $\times 1\,000$; в – $\times 3\,500$

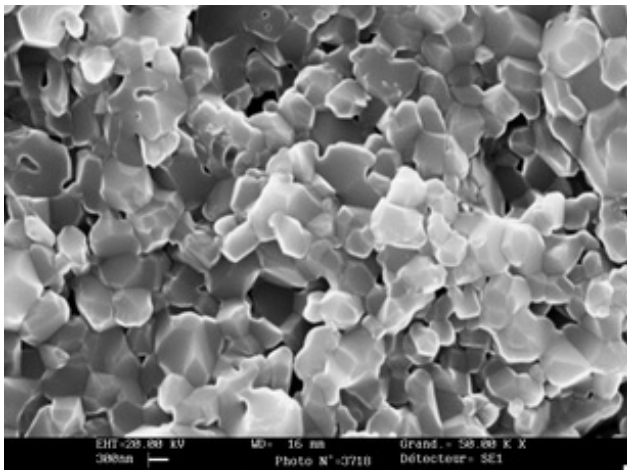
$$k_p \cdot V_C = N_m \cdot v_p, \quad (2)$$

где N_m, N_f – количество частиц СВМПЭ и Al_2O_3 ; v_m, v_f – средний объем частиц; v_p – средний объем пор, приходящийся на одну частицу СВМПЭ.

Учитывая, что объем вписанного шара поры $V_{Rp} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_p^3$, а объем частицы Al_2O_3 $V_f = \frac{\pi}{6} \cdot d_f^3$, можно рассчитать количество частиц, заполняющих пору.



а



б

Рис. 7. Микроструктура оксидной керамики:
а – $\times 250$; б – $\times 5\,000$

Однако даже максимально плотная упаковка сохраняет внутреннюю микропористость между частицами, поэтому в бимодальную смесь необходимо вводить большее количество частиц Al_2O_3 по сравнению с максималь-

но возможным, исходя из геометрических соображений. В связи с этим при расчетах было принято в качестве необходимого условия получения плотного компакта $V_p = N_f \cdot V_f$.

Приведенные выше зависимости позволили предварительно рассчитать количество добавок Al_2O_3 , необходимое для получения прессовок с наибольшей плотностью упаковки. При размерах частиц $d_m = 70$ мкм; $d_f = 7$ мкм необходимая концентрация добавок Al_2O_3 в состав смеси составила $V_f = 0,30$ или 30 % масс.

В экспериментальной части для проверки теоретических прогнозов по моделям соотношения СВМПЭ и оксида алюминия в композите были изучены образцы с различным содержанием масс %: 1) 20 % СВМПЭ – 80 % Al_2O_3 ; 2) 50 % СВМПЭ – 50 % Al_2O_3 ; 3) 70 % СВМПЭ – 30 % Al_2O_3 .

Зависимость относительной плотности прессовок СВМПЭ, модифицированных оксидом алюминия, от времени выдержки приведена на рис. 8. Можно предположить, что 30 минут времени выдержки под давлением 7 МПа при одновременном нагреве до 200 °С являются достаточными для получения требуемой плотности компакта для образцов с содержанием масс 70 % СВМПЭ – 30 % Al_2O_3 .

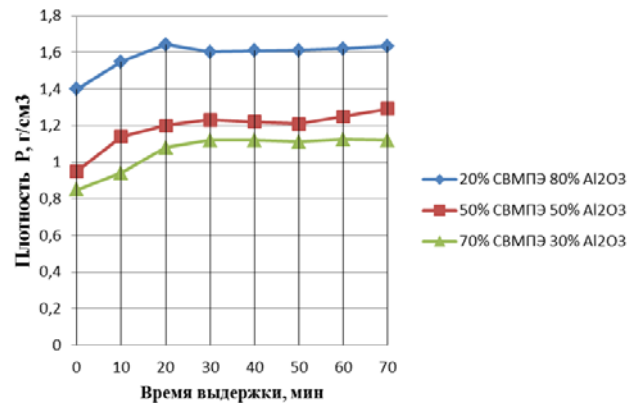


Рис. 8. Зависимость относительной плотности прессовок СВМПЭ, модифицированных оксидом алюминия, от времени выдержки

Эволюция микроструктуры композиции, позволяющей обеспечивать максимальную плотность, исходя из расчетных значений, полученных в теоретической части, и данных исследований, может быть реализована при концентрации V_f в составе смеси около 30 % масс (рис. 9).

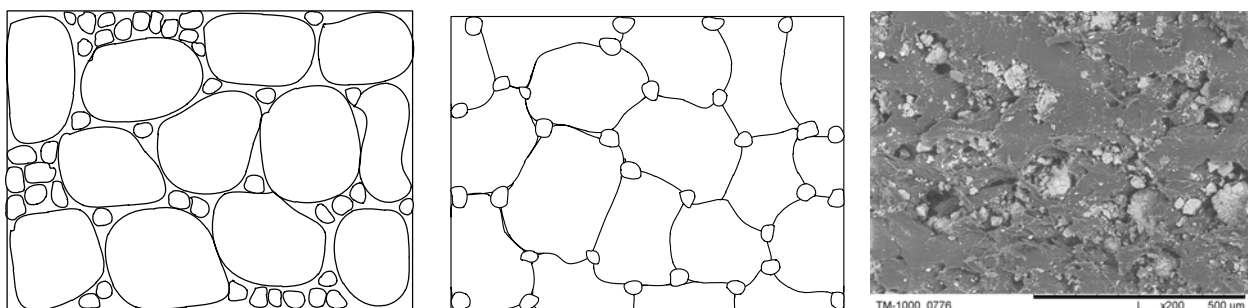


Рис. 9. Характер изменения структуры компакта с содержанием масс 70 % СВМПЭ – 30 % Al_2O_3

Сочетание требуемых технологических режимов давления прессования, температур и времени позволяет сформировать достаточно однородную беспористую структуру материала с плотностью $1,63 \text{ г/см}^3$, удовлетворительными показателями твердости по Бринеллю 360 НВ и требованием по ударной вязкости, соответствующей DIN EN ISO 179-2 $> 100 \text{ мДж/мм}^2$.

Данные, полученные в ходе исследований, свидетельствуют о необходимости применения при изготовлении изделий ступенчатого поэтапного температурно-временного режима нагрева и постепенного плавного охлаждения

после формования для предотвращения образования остаточных температурных напряжений (деформаций), микротрещин.

Применение СВМПЭ может стать основой для создания новых композиционных материалов на полимерной основе с армирующими элементами различного назначения и химического состава: волокон Вискерса, включений в виде частиц, например, керамики, в том числе наноструктурированных фрагментов в виде отдельных элементов или направленных структур.

Y. I. Gordeev, A. K. Abkaryan, O. V. Kovalevskaya

PROSPECTIVE COMPOSITE MATERIALS BASED ON ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE MODIFIED WITH ULTRAFINE POWDERS OF ALUMINUM OXIDE

In the article the authors present results of calculations methods and experimental investigation of formation of microstructure and properties of ultra high molecular weight polyethylene (UHMWE), which is modified with ceramics Al_2O_3 stock of different dispersivity and method of obtaining.

Keywords: powders, ultra high molecular weight polyethylene, ceramics, sintering, pressing, composite.

© Гордеев Ю. И., Абкарян А. К., Ковалевская О. В., 2011

УДК 629.78.054:621д.396.018

В. Н. Жариков, А. В. Пичкалев

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрены перспективы применения некоторых стандартов магистрально-модульных систем для реализации аппаратно-программных средств испытаний. Показана необходимость освоения новых магистрально-модульных стандартов.

Ключевые слова: магистрально-модульные системы, PXI, VXI, стоимость и срок.

В настоящее время существует множество подходов, позволяющих производить разработку систем контроля и испытаний. В каждом конкретном случае при новой разработке приходится учитывать ресурсы, которыми располагает предприятие, определять потребное для разработки время и искать пути снижения затрат. Как правило, не всегда удается на базе одной организации создать оптимальные условия для осуществления всех видов работ, и особенно при отработке нестандартных решений, влекущих за собой исследовательскую деятельность.

Особенно актуальным моментом при разработке нового изделия или модернизации существующего является выбор надежной, доступной и производительной элементной базы, надежных современных связанных интерфейсов. С выходом нового изделия в свет, разработчик не расстается с результатом своего творческого труда. Постоянно приходится отслеживать возможности улучшить какие-либо показатели или расширить функциональные возможности изделия.

Стремительный темп усложнения и изменения объектов контроля требуют от производителя максимально ускорить процесс разработки новых систем контроля и испытаний и снизить трудоемкость коррекций. Необходимо сокращать сроки и затраты этапа конструкторских работ. Помочь в этом может модульная технология [1].

Однако в настоящее время новые модульные стандарты появляются и исчезают достаточно быстро. Стоит проблема выбора перспективного модульного стандарта, который не только не перестанет поддерживаться через несколько лет, но и будет продолжать развиваться.

В качестве примера рассмотрим стандарты VXI и PXI.

В 1999 г. на ряде предприятий космической отрасли в качестве базового магистрально-модульного стандарта для реализации аппаратно-программных средств испытаний был принят международный стандарт VXI (рис. 1). К тому моменту (1994–1997 гг.) мировой рынок электронной аппаратуры согласно маркетинговым опросам крупнейших производителей фирмой Venture

Development corporation был поделен относительно поровну между системами в стандарте VME и всеми остальными реализациями, включая и немодульные. VXI занимал на этом рынке скромную нишу метрологических систем с 3 % от общего производства. Причиной подобной ограниченности применения VXI стал чрезмерно громоздкий конструктив (самый популярный формат C: 233×320×31 мм с возможностью «2-этажной» установкой плат против формата 3U 100×160×20 мм или 6U 233×160×20 мм у VME), обусловивший удобство технической реализации модулей VXI исключительно в виде аппаратных контроллеров со сложной схемой и очень дорогим набором элементов. Это привело к чрезвычайно высокой стоимости VXI-систем (иногда до 10 раз дороже VME) и сложности их перекомпоновки из-за жесткой аппаратной реализации и слабой «перепрограммируемости» модулей. В метрологических системах, где всегда господствовали дорогостоящие аппаратные системы специального назначения, эти особенности VXI-систем недостатками не считались.



Рис. 1. Крейт VXI формата C

В то же время в середине 1990-х годов из архитектур ПЭВМ в мир РЭА стала внедряться магистраль PCI. Имея множество недостатков, она имела абсолютное преимущество перед любым конкурентом в части себестоимости реализации, огромного числа производителей PC-совместимого оборудования и распространенности программного обеспечения. Получив промышленные конструктивы для аппаратной реализации (CompactPCI, PXI, PMC, PC/104 + и т. п.), магистраль PCI начала активно вытеснять с рынка РЭА «долгожителей». Так, более дешевый и компактный стандарт PXI (рис. 2) сильно пошатнул позиции VXI на рынке метрологических систем.

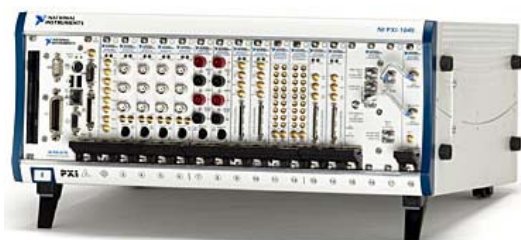


Рис. 2. Крейт PXI формата 3U

Причиной падения интереса к VXI-оборудованию стал прогресс схемотехники, сделавший ненужными огромные площади печатных плат его конструктивов: например, у формата D 366×320 мм (рис. 3) площадь печатной платы достигает почти 0,45 м². Даже жесткие аппаратные контроллеры стали легко помещаться на платах формата 3U (100×160 мм), применяемых в VME/CompactPCI/PXI. А бурное развитие микропроцессорной схемотехники позволило реализовывать программируемые адаптеры на все более высоких частотах, вытесняя жесткие аппаратные схемы в СВЧ-диапазоны, где модули VXI оказались не востребованы. Крупнейшие производители VXI-оборудования – National Instruments, Tektronix International Incorporated и Agilent Technologies (бывшее отделение РЭА Hewlett-Packard) – прекратили его производство по причине нерентабельности. Новых разработок модулей VXI за рубежом нигде больше не ведется, а номенклатура предложений постепенно сокращается по мере распродажи складских запасов [2]. Также, что немаловажно, стоимость оборудования PXI (табл. 1) гораздо ниже стоимости аналогичного оборудования на базе VXI.

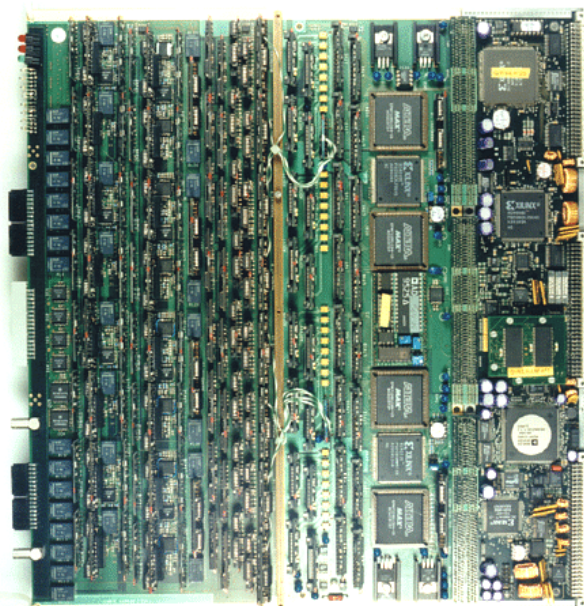


Рис. 3. Модуль VXI формата D

Продолжение развития испытательных комплексов исключительно в стандарте VXI делает его потребителей заложниками единичных производителей VXI-оборудования, которое в последнее время уступает свои позиции на рынке. За последние годы роста продаж модулей VXI, мягко говоря, не наблюдается, что нельзя сказать про PXI. Такое положение эксперты прогнозируют и на ближайшее будущее. В такой ситуации велика вероятность практически полного прекращения производства такого оборудования. Подобное уже имело место в середине 90-х годов. Тогда РНИИ КП, прекратив поддержку собственного стандарта магистрально-модульных систем УКИА, создал большие проблемы для производства и испытаний некоторых бортовых приборов НПО ПМ. Сейчас практически вся бортовая аппаратура ОАО «ИСС» испытывается и сдается заказчику на VXI-системах. Зависимость от одного поставщика VXI-оборудования может

создать проблемы всему приборному производству предприятия.

В качестве примера возникающих при этом проблем можно привести разработку формирователя навигационных сигналов (ФНС), который используется в составе контрольно-испытательной аппаратуры навигационной аппаратуры потребителя (КИА НАП). Затраты на создание аналогичных ФНС в стандартах VXI и PXI были определены в ходе выполнения соответствующей опытно-конструкторской разработки (табл. 2).

При разработке ФНС на базе VXI мы сталкиваемся с отсутствием необходимых модулей с требуемыми характеристиками для имитации навигационных сигналов. Таким образом, в процесс разработки добавляется задача по разработке соответствующих модулей. Общая разработка ФНС в этом случае обходится не менее 16 млн руб. Стоимость готового прибора составляет около 2 млн руб. даже при серийном производстве на основе дешевых комплектующих. При штучном производстве, характерном для космического приборостроения, цена прибора существенно возрастает. Кроме высокой стоимости разработки стоит также учесть, что на разработку ФНС на базе VXI требуется около 2 лет.

Разработка ФНС на базе PXI значительно упрощается благодаря наличию модулей в этом стандарте, подходящих для реализации прибора на их основе. Таким образом, процесс создания становится значительно проще и быстрее. Стоимость реализации прибора на основе модулей PXI составит (при стоимости разработки около 6 млн руб.) не более 2 млн руб., даже при использовании самых дорогих модулей, доступных на данный момент. При использовании «экономических» модулей среднего качества стоимость разработки и прибора существенно снижаются. Также стоит отметить, что благодаря экономленному времени на разработке новых модулей и их изготовлении, время разработки ФНС на базе PXI займет не более 10 месяцев.

Таким образом, при примерно одинаковых итоговых стоимостях прибора в стандартах VXI и PXI мы видим большую разницу в цене и времени разработки прибора.

В нашем случае, при создании прибора для VXI-систем мы просто не имеем другого выбора, кроме создания специализированного модуля из-за отсутствия необходимых модулей для данного стандарта. В то время как большой и всерасширяющийся выбор модулей PXI/CompactPCI позволяет быстро создавать практически

Таблица 1

Технические характеристики	VXI	Цена за шт. (тыс. руб.)	Цена за шт. (тыс. руб.)	PXI	Технические характеристики
13-слотовый крейт формата C	INTE004FC	190	120	PXIS-3320	15-слотовый корпус PXI для 6U плат
6-слотовый переносной крейт формата C	INTE002FC	125	80	ACP661	Переносная рабочая станция 6U CompactPCI/PXI
Контроллер слота 0	INTE086 (VXI-VXB)	85	5	PXI-8570	PXI-адаптер расширения шины PCI
Модульный компьютер для установки в крейт	INTE015F (VXI Emb.)	206	50	cPCI-6860A	Процессор 6U CompactPCI/PXI
Программно-управляемый генератор, 16 каналов, 11 разрядов, ± 10 В	INTE007 (ИПТН16)	315	54,2	NI PXI-6704	32 ЦАП, 16 бит, ± 10 В
Коммутатор 4 цепей питания на 40 В, 10 А	INTE112 (КП42-10)	89	39	NI PXI-2586	Релейный модуль на 10 каналов 300 В; 12 А; 3 кВт
Формирователь «сухого» контакта, 10 каналов	INTE038 (ФСК80-2)	80	24	NI PXI-2501	Релейная матрица 2/4×6 каналов 100 В; 0,5 А; 10 Вт
Матричный релейный коммутатор 4×100 каналов	INTE041 (KM100x4)	145	142	NI PXI-2532	Релейная матрица 4×128 каналов 100 В; 0,5 А; 10 Вт
Цифровой мультиметр, 6,5 десятичных знаков	INTE144 (ЦММ1)	96	91,5	NI PXI-4072	Мультиметр 10–23 бит; 0,1–300 В; 10^{-6} –2 А; 10^2 – 10^9 Ом
Цифровой осциллограф, 2 входа АЦП 10 бит, 200 МГц	INTE113 (ОСЦ4М)	260	186	NI PXI-5124	2 дифф. входа АЦП 12 бит; 200 МГц; 512 Мб
Анализатор состояния 8 электронных коммутаторов	INTE037 (АЭД)	88	16	NI PXI-6521	8-канальный модуль DI/O TTL

Таблица 2

Наименование этапа	Цена этапа, тыс. руб.	
	VXI	PXI
Разработка конструкторской документации ФНС и КИА НАП	2 300	700
Изготовление, регулировка и аттестация 24-канального ФНС	6 600	2 000
Комплектование и отработка КИА НАП	4 500	600
Разработка программного обеспечения ФНС и КИА НАП	1 950	1 950
Ввод в эксплуатацию КИА НАП	700	700
Итого	16 050,0	5 985,0

любое испытательное оборудование из предлагаемых на рынке модулей.

Как видно из вышеописанного – переставший развиваться стандарт становится неконкурентоспособным. Это влечет за собой отказ многих фирм производить модули для него. Производители измерительной техники предпочитают ориентировать вновь разрабатываемые модули на более популярно развивающиеся стандарты. Уже выпущенные модули быстро устаревают при текущих темпах развития приборостроения. Таким образом, предприятия-пользователи встают перед необходимостью собственных разработок модулей применяемого стандарта или заказов таких разработок у сторонних предприятий, что стоит весьма дорого и требует много времени. Очевидна необходимость постоянного отслеживания состояния современных магистрально-модульных стандартов

и своевременный переход на более перспективные. Обучение специалистов при переходе на новый стандарт потребует затрат, но по сравнению с затратами, которые тратятся на разработку отсутствующих модулей, они невелики.

Библиографические ссылки

1. Симонов Е. А., Цыганов С. В., Герасимов Д. М. Модульные технологии в обучении, разработке, на производстве // Компоненты и технологии. 2005. № 4. С. 184–186.
2. Жариков В. Н., Пичкалёв А. В. Новые технологии для испытательного оборудования // Решетневские чтения : материалы XIII Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. С. 500–502.

V. N. Jarikov, A. V. Pichkalev

NEW TECHNOLOGIES FOR THE TEST EQUIPMENT

Prospects of application of some standards of dataway-modular systems for realisation of hardware-software gauges are considered. Necessity of development of new dataway-modular standards is shown.

Keywords: magistral-modular systems, PXI, VXI, cost and development time.

© Жариков В. Н., Пичкалев А. В., 2011

УДК 621.892

Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, С. Б. Ковальский, Е. Г. Мальцева, Н. Н. Малышева

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА МЕХАНОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГРАНИЧНОМ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Приведены результаты испытания моторных масел на трехшариковой машине трения при изменении полярности постоянного напряжения на образцах.

Ключевые слова: ток, протекающий через фрикционный контакт, механохимические процессы, диаметр пятна износа.

Атомные и молекулярные взаимодействия в трибо-системах с граничным трением скольжения обычно выражаются механическими, физическими и химическими процессами [1]. Течение их чрезвычайно чувствительно к изменению давления, скорости, температуры и других факторов. Молекулярный механизм граничного трения изложен в работах В. Гарди [2], а химический – Боуденом [3; 4]. Помимо перечисленных процессов, малоизученными остаются химические, механохимические, электрические и электромагнитные явления, возникающие и протекающие на поверхностях при граничном трении скольжения.

Целью настоящей работы является определение влияния электрического потенциала на механохимические процессы и параметры износа при испытании смазочных материалов.

Методика исследования. Испытания проводились на трехшариковой машине трения [5] со схемой трения «шар–цилиндр». Отличительной особенностью конструкции машины является то, что каждый из трех шаров контактировал с поверхностью цилиндра по индивидуальной дорожке трения, причем они электроизолированы друг относительно друга. Через один из шаров пропускался постоянный ток (100 мкА) от стабилизированного источника постоянного напряжения (3 В).

В качестве образцов выбраны шар (подшипник № 1210) диаметром 9,5 мм и верхняя обойма концевой роликовой подшипника № 30208 диаметром 80 мм. Образцы использовались многократно путем переточки обоймы абразивными лентами разной зернистости, а шар проворачивается в держателе. Оба образца изготовлены из стали ШХ15.

Режимы трения: нагрузка – 13 Н, скорость скольжения – 0,68 м/с, температура масла – 80 °С, время испытания – 2 часа.

Результаты исследований и их обсуждение. Величина тока, протекающего через фрикционный контакт после преобразования, регистрировалась на компьютере в виде диаграммы. Противоизносные свойства моторных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах и коэффициенту электропроводности фрикционного контакта [6], определяемому отношением тока, протекающего через фрикционный контакт к заданному току (100 мкА) при статическом положении образцов.

Влияние полярности тока и его величины на износ материалов пар трения и коэффициент электропроводности (рис. 1) исследовался на минеральном моторном масле ЛУКОЙЛ стандарт 10W-40 SF/CC. Полярность тока изменялась после 5 минут испытания. Согласно представленным данным (рис. 1, а), диаграмма характеризует изменение тока, протекающего через фрикционный контакт при положительном потенциале на шаре и заданной величине тока 100 мкА. На данной зависимости наблюдаются три характерных участка. На первом, на котором ток максимален и равен заданному, происходит металлический контакт поверхностей трения образцов в результате пластической деформации.

Второй участок диаграммы характеризуется уменьшением тока до определенной величины. В этот период

пластическая деформация переходит в упругую и на поверхности шара образуются защитные пленки, уменьшающие величину тока. Данные пленки обладают высоким оптическим сопротивлением, так как ток уменьшается до значений равных ≈ 10 мкА.

Третий участок диаграммы характеризуется стабилизацией тока на определенном значении. В этот период реализуются, в основном, упругие деформации на фрикционном контакте и происходят процессы формирования и разрушения защитных граничных слоев, площадь которых на поверхности трения изменяется, вызывая колебания тока.

Диаграмма записи тока, протекающего через фрикционный контакт при периодическом изменении полярности тока, представлена на рис. 1, б. Изменение полярности тока проводилось через 5 минут. Согласно представленным данным, при изменении полярности тока происходит его изменение. Так, при положительном потенциале на шаре ток уменьшается до значений равных 10 мкА, а при отрицательном потенциале он равен приблизительно 50 мкА. В этой связи можно утверждать, что при положительном потенциале на шаре защитные пленки образуются, а так как площадь пятна износа на шаре значительно меньше площади контакта на обойме, то защитные пленки образуются быстрее и практически полностью покрывают поверхность трения, увеличивая оптическое сопротивление контакта и уменьшая ток.

При отрицательном потенциале на шаре защитные пленки образуются на обойме за счет положительного

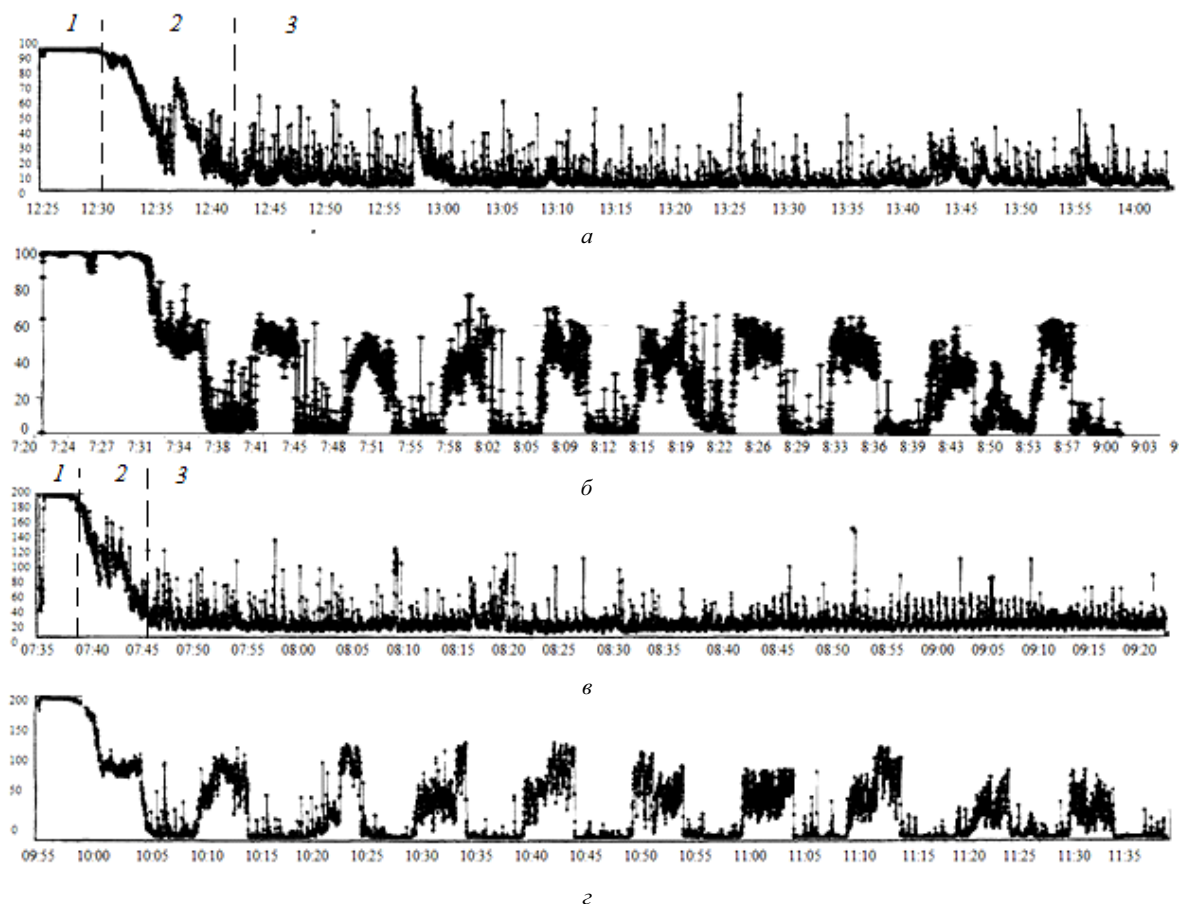


Рис. 1. Диаграммы тока, протекающего через фрикционный контакт при испытании минерального моторного масла ЛУКОЙЛ стандарт 10w-40 SF/CC: а – заданный ток равен 100 мкА; б и г – циклическое изменение полярности тока на шаре; в – заданный ток равен 200 мкА

потенциала, а так как площадь контактируемой поверхности значительно больше, то на контакте происходят упругопластические деформации, увеличивающие ток. Это подтверждается показателями износа. Так, при положительном потенциале на шаре износ составил 0,267 мм, а при отрицательном – 0,393 мм. Увеличение износа связано с увеличением продолжительности упругопластических деформаций на контакте в результате циклического изменения полярности тока.

Диаграмма записи тока при увеличении заданного тока от 100 до 200 мкА представлена на рис. 1, в. Из представленной диаграммы видно, что она по аналогии с диаграммой (см. рис. 1, а) имеет три характерных участка с пластической, упругопластической и упругой деформациями. Отличительной особенностью диаграмм, полученной при заданном токе 200 мкА на участке упругой деформации является то, что среднеарифметическое значение тока составляет 20 мкА, а при заданном токе 100 мкА (см. рис. 1, а) – 15 мкА.

При циклическом изменении потенциала на шаре (см. рис. 1, з) наблюдается аналогичная картина, что и при токе 100 мкА (см. рис. 1, б). Различия заключаются в величине тока при отрицательном потенциале на шаре, который составляет для шести циклов 100 мкА, а при дальнейшем испытании он уменьшается до 70 мкА и ниже. Это объясняется тем, что с увеличением заданного тока до 200 мкА на обойме с положительным потенциалом увеличивается скорость образования защитных пленок. Показатель износа при положительном потенциале на шаре составил 0,273 мм, а при циклическом изменении потенциала – 0,287 мм. Поэтому с увеличением заданного тока от внешнего источника различия в износе шаров без циклического изменения потенциала и с его изменением уменьшаются по сравнению с данными, полученными при заданном токе 100 мкА за счет увеличения скорости образования защитных пленок, представляющих собой химическое соединение металла с компонентами присадок.

Проведенными исследованиями показана возможность повышения противоизносных свойств смазочных материалов за счет создания дополнительного электрического потенциала на поверхностях трения.

Влияние электрического потенциала на параметры износа исследовалось на моторных, трансмиссионных и гидравлических маслах различных базовых основ, результаты которых сведены в таблицу. Результаты получены при положительном потенциале на шаре и без пропуска-

ния тока через фрикционный контакт. Заданная величина тока составила 100 мкА.

В таблице параметр износа с током получен при положительном потенциале на шаре.

Из представленных в таблице данных видно, что значения параметра износа при пропускании тока через фрикционный контакт для моторных и гидравлических масел различаются незначительно, однако для трансмиссионных масел ток оказывает существенное влияние на противоизносные свойства, они улучшаются более чем в 2 раза.

Влияние положительного и отрицательного потенциала на шаре от степени окисления смазочного масла исследовалось на авиационном моторном синтетическом масле ВНИИНП – 50–1–4Ф. Степень окисления масла оценивалась путем прямого фотометрирования по коэффициенту поглощения светового потока.

Зависимости диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при положительном (а) и отрицательном (б) потенциалах на шаре представлены на рис. 2. При этом ток величиной 100 мкА пропускаться через одну пару трения, а через две другие – не пропускаться.

Согласно представленным данным, при положительном потенциале на шаре (кривая 1) износ меньше, чем при отсутствии тока в парах трения. При этом при положительном потенциале противоизносные свойства масла снижаются с увеличением коэффициента поглощения светового потока до значения $K_{\Pi} = 0,3$ ед., а в пределах значений K_{Π} от 0,3 до 0,6 ед. противоизносные свойства повышаются. При значениях $K_{\Pi} > 0,6$ ед. наступает стабилизация износа на уровне значений неокисленного (товарного) масла.

При отсутствии потенциала на шарах (кривая 1') противоизносные свойства также понижаются до значения при значениях K_{Π} от 0,3 до 0,5 ед., а в диапазоне K_{Π} от 0,5 до 0,82 ед. наблюдается медленное повышение противоизносных свойств.

Отличительной особенностью зависимости (кривая 1') является то, что при значениях $K_{\Pi} > 0,5$ ед. противоизносные свойства масла выше, чем у товарного (неокисленного) масла (точка на ординате). При положительном потенциале на шаре (кривая 1) установлено, что противоизносные свойства масла ниже, чем у товарного при всех значениях коэффициента K_{Π} .

Общей закономерностью изменения противоизносных свойств окисленного масла независимо от потенци-

Результаты испытания смазочных масел на противоизносные свойства

Марка масла	Параметр износа, мм	
	с током	без тока
Минеральные моторные масла М10-Г _{2К}	0,3	0,28
Utech navigator 15W-40 SG/CD	0,28	0,3
Частично синтетические масла ТНК 10W-40 SL/CF	0,38	0,34
ЛУКОЙЛ-Супер 10W-40 SG/CD	0,26	0,26
Синтетические моторные масла Castrol GTX Magnatec 5W-40 SL/CF	0,32	0,33
ЛУКОЙЛ-Синтетик 5W-40 SL/CF	0,3	0,27
Гидравлическое синтетическое масло HLP-10	0,38	0,37
Трансмиссионные масла ТНК транс 85W-90 GL-5	0,24	0,62
Agip RotvaFe 75W-80 GL-4	0,3	0,61

ала на шарах является снижение противоизносных свойств до значения коэффициента поглощения светового потока равного 0,3 ед. Однако противоизносные свойства масла выше при наличии положительного потенциала на шарах. Это может объясняться влиянием электрического тока на сорбционные процессы, ускоряющие образования на поверхностях трения защитных граничных пленок, предотвращающих металлический контакт.

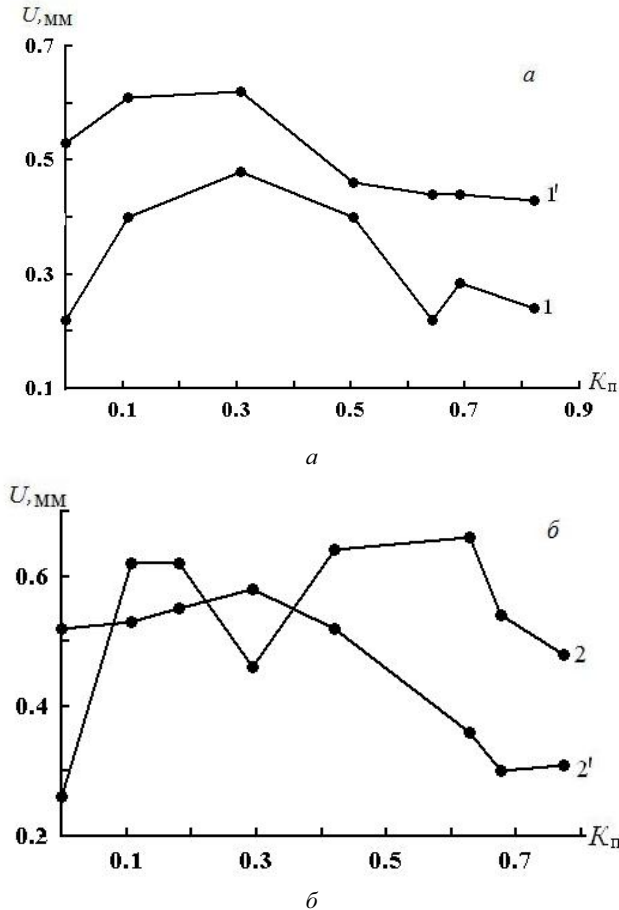


Рис. 2. Зависимость диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока при испытании синтетического моторного масла ВНИИНП – 50–1–4Ф:

а – при положительном потенциале на шаре;

б – при отрицательном потенциале на шаре; 1' и 2' – без пропуска тока через фрикционный контакт

При отрицательном потенциале на шарах (рис. 2, б, кривая 2) установлены два характерных участка при значениях коэффициента поглощения светового потока $K_{\Pi} = 0,3$ ед. и $K_{\Pi} = 0,6$ ед., при которых противоизносные свойства окисленных масел повышаются, однако они хуже, чем у товарного (неокисленного) масла. При отсутствии потенциала на шарах (кривая 2') противоизносные свойства окисленных масел снижаются до значения коэффициента $K_{\Pi} = 0,3$ ед., затем с увеличением коэффициента K_{Π} они улучшаются и при $K_{\Pi} = 0,4$ ед. противоизносные свойства превышают значения для товарного масла. В общем случае противоизносные свойства окисленных масел при коэффициенте $K_{\Pi} = 0,35$ ед. выше, чем у масел, испытанных при отрицательном потенциале на шарах. Это может объясняться тем, что при отрицатель-

ном потенциале на шарах (кривая 2) граничные защитные пленки образуются на поверхности обоймы, площадь контакта которой значительно больше, поэтому продолжительность пластической и упругопластической деформаций значительно больше, что вызывает увеличение износа.

Анализ зависимостей диаметра пятна износа от коэффициента поглощения светового потока показывает, что независимо от потенциала на шарах и его отсутствии противоизносные свойства окисленного синтетического масла ВНИИНП – 50–1–4Ф понижаются до значения коэффициента $K_{\Pi} = 0,3$ ед., т. е. образующиеся при этом продукты окисления не способны создавать на поверхностях трения прочные граничные пленки. При значениях коэффициента $K_{\Pi} = 0,3$ ед. и отсутствии электрического потенциала на шарах противоизносные свойства окисленных масел повышаются. Это, по-видимому, связано с появлением продуктов окисления иного состава.

В результате проведенных исследований показано, что при положительном электрическом потенциале на шарах показатель износа окисленных масел наименьший.

Влияние электрического потенциала на показатель износа предложено оценивать коэффициентом влияния потенциала $K_{ВП}$, определяемого выражением

$$K_{ВП} = U / U_T,$$

где U – износ без потенциала на шарах; U_T – износ с потенциалом на шарах.

Зависимости коэффициента влияния электрического потенциала на коэффициент влияния электрического потенциала от коэффициента поглощения светового потока представлены на рис. 3. Если потенциал не оказывает влияния на параметр износа, то коэффициент $K_{ВП} = 1$. Если значения коэффициента $K_{ВП} > 1$, то это означает, что потенциал понижает параметр износа, а при $K_{ВП} < 1$ он его увеличивает. Согласно представленным на рис. 2 данным, положительный потенциал на шарах (кривая 1) увеличивает коэффициент $K_{ВП}$, причем при окислении синтетического масла ВНИИНП – 50–1–4Ф до коэффициента $K_{\Pi} = 0,5$ ед. он снижается практически до единицы, а затем увеличивается. Также изменение коэффициента $K_{ВП}$ может объясняться различием в структуре продуктов окисления.

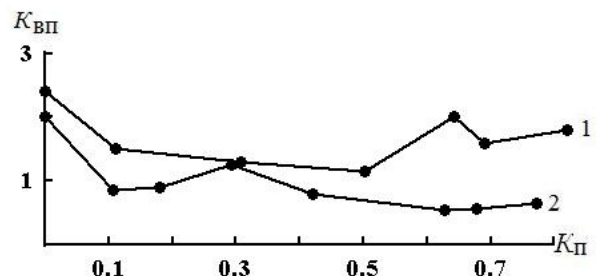


Рис. 3. Зависимость коэффициента влияния электрического потенциала от коэффициента поглощения светового потока:

1 – положительный потенциал на шарах;

2 – отрицательный потенциал на шарах

Наибольшее влияние положительного потенциала наблюдается у товарного (неокисленного) масла, при этом коэффициент $K_{ВП} = 2,4$ ед.

При отрицательном потенциале на шарах (кривая 2) коэффициент $K_{\text{ВП}}$ с увеличением коэффициента поглощения светового потока меньше единицы заключением товарного масла и окисленного до $K_{\text{П}} = 0,3$ ед., когда $K_{\text{ВП}} > 1$.

Таким образом, при отрицательном потенциале на шарах показатель износа больше, чем при его отсутствии.

На основании проведенных исследований установлено, что при создании электрического положительного потенциала на малой площади контакта (шара) на поверхности образуются защитные пленки, способные разделять поверхности трения и уменьшать износ как товарного, так и окисленного моторного синтетического масла ВНИИНП – 50–1–4Ф. Это явление объясняется адсорбцией кислых продуктов окисления и образованием на поверхности трения органических соединений. Применение этого явления может значительно повысить надежность трибосистем.

Библиографические ссылки

1. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения. М. : Физматлит, 1963.
2. Hardy W. B. Collected Scientific Papers. Cambridge, 1936.
3. Bawden F. P. Tabor D Friction and Lubrication of Solids. Oxford, 1954.
4. Боуден Ф. П., Тейбор Д. Трение и смазка. М. : Машгиз, 1960.
5. Ковальский Б. И., Грибанов М. Е. Устройство для испытания трущихся материалов и масел : а. с. № 983522 СССР МКИ³. G01 № 19/02. 1982, Бюл. № 47.
6. Способ определения смазывающей способности масел : пат. 2186386. Рос. Федерация. МКИ³. G01 № 33/30, 3/56 / Б. И. Ковальский, С. И. Васильев, С. Б. Ковальский [и др.]. 2002, Бюл. № 21.

B. I. Kovalsky, Yu. N. Bezborodov, S. B. Kovalsky, E. G. Maltseva, N. N. Malysheva

INFLUENCE OF ELECTRIC POTENTIAL ON MECHANO-CHEMICAL PROCESSES AT THE BOUNDARY SLIDING FRICTION

The testing results of motor oils by the three-ball machine of friction are resulted at change of polarity of a constant voltage on samples.

Keywords: a current proceeding through frictional contact, mechano-chemical processes, diameter of a stain of deterioration.

© Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Ковальский С. Б., Мальцева Е. Г., Малышева Н. Н., 2011

УДК 621.762

Г. Г. Крушенко, М. Н. Фильков

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО КОМПОЗИТА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ УПРОЧНЯЮЩИХ НАНОПОРОШКОВ

В результате обработки в планетарной мельнице композиции, состоящей из частиц алюминия и нанопорошка нитрида титана TiN, разработана технология изготовления алюминиевого композита с повышенными механическими свойствами.

Ключевые слова: алюминиевые композиты, нанопорошки химических соединений, механические свойства.

В работе [1] описана технология изготовления алюминиевого композиционного материала в виде протяженных профилей с волокнистой структурой: прутки (рис. 1), профили (рис. 2) с применением метода экструзии композиции, состоящей из частиц алюминия и нанопорошков (НП) высокопрочных химических соединений. Перед прессованием эти компоненты загружали в тонкостенный алюминиевый контейнер и производили его вращение в установке с эксцентричными осями при скорости 60 об/мин, в результате чего в поверхность частиц алюминия прочно внедрялись частицы НП. При этом использовалось более 20-ти видов НП (бориды, карбиды, нитриды, оксиды, силициды и смеси некоторых из них), полученные как методом плаз-

мохимического, так и электродугового синтеза (только Al_2O_3).

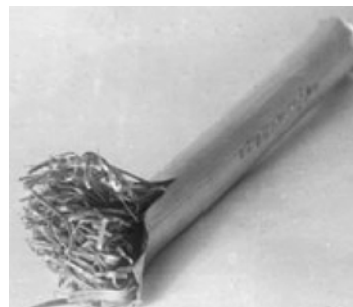


Рис. 1. Типичный вид композита (пруток $\varnothing 9,5$ мм), отпрессованного из алюминиевых гранул и НП

Результаты испытаний механических свойств композитов, полученных, например, из композиции «гранулы плюс НП», показали, что их прочность и пластичность превышают таковые для прессовок из одних гранул алюминиевого сплава АД (см. таблицу), что связано собственно не только с волокнистой структурой этих материалов, но и с тем, что в процессе экструзии в поверхность алюминиевых частиц внедряются частицы НП, что было установлено с помощью микроскопического изучения их поверхности.

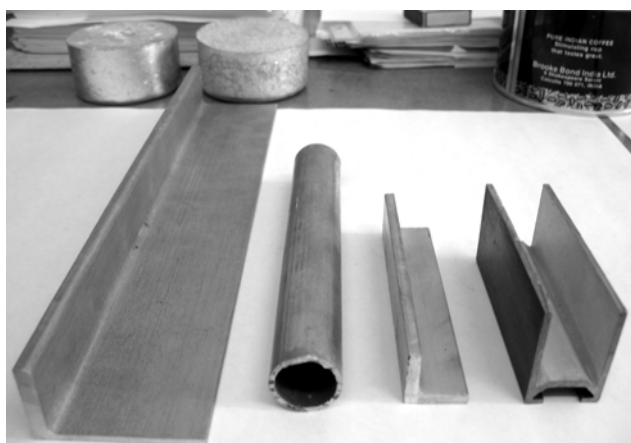


Рис. 2. Профили с волокнистой структурой, отпрессованные из частиц алюминия и нанопорошков (для сравнения в левом верхнем углу фотографии показаны две технологические пробы $\varnothing$ 72 мм)

Для проверки этого предположения по методике [2] была определена прочность выделенных из полученного композита волокон. При этом было установлено, что среднее значение временного сопротивления σ_b составляет 128,8 МПа.

С целью установления возможности повышения прочности алюминиевых волокнистых композитов была выполнена работа по увеличению в их объеме содержания НП. При этом использовали НП нитрида титана TiN, полученного методом плазмохимического синтеза, в связи с тем, что его применение в качестве модификатора в наибольшей степени позволило повысить механические свойства литых деталей сложной конфигурации типа «конусообразный обтекатель» (масса 25 кг) из сплава типа АЛ4М. К прочностным характеристикам этих деталей предъявляются повышенные требования, так как они работают в экстремальных условиях [3].

В качестве основы композита применяли алюминиевую «сечку», которая представляла собой фрагменты длиной 1...4 мм, полученные «гильотинированием» алюминиевой проволоки $\varnothing$ 2,0 мм, а также алюминиевый

порошок с размером частиц в интервале 0,5...0,7 мм (рис. 3), полученный распылением. Средний размер частиц НП TiN составлял 40 нм (рис. 4). Смешивание частиц алюминия и НП TiN производили с помощью планетарной мельницы, в барабан которой загружали в качестве мелющих тел шарики $\varnothing$ 10 мм из нержавеющей стали.



Рис. 3. Оптическая фотография алюминиевого порошка ($\times 50$)

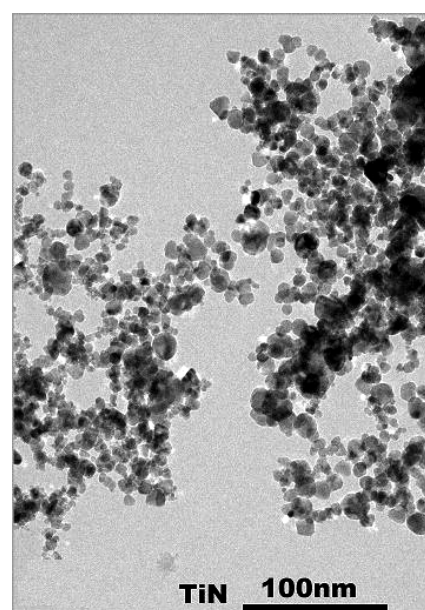


Рис. 4. Нанопорошок нитрида титана TiN

Известно, что в процессе работы шаровых мельниц практически всегда происходит загрязнение обрабатываемых компонентов материалом мелющих тел и барабана. Поэтому на первом этапе с целью предотвращения попадания материала барабана и шариков в композиты, которые предстояло прессовать из композиции «сечка»/алюминиевый порошок + НП TiN», на стенке барабана создавали гарнисаж из алюминия (оксида алюминия) путем загрузки в него «сечки» и шариков в соотношении 1:15, что заполняло примерно треть барабана. После чего вводили в действие мельницу на 10 мин при скорости вращения 600 об/мин.

Механические свойства прутков $\varnothing$ 9,5 мм, отпрессованных из гранул алюминиевого сплава АД (не менее 98,8 % Al) и нанопорошков BN и TiCN

Состав композиции	Временное сопротивление разрушению σ_b		Предел текучести $\sigma_{0,2}$		Относительное удлинение δ , %	
	МПа	Прирост, %	МПа	Прирост, %	%	Прирост, %
Гранулы из алюминиевого сплава АД	98,1	—	48,1	—	42,8	—
Гранулы сплава АД + НП BN	113,8	16,0	56,9	18,3	43,2	0,9
Гранулы сплава АД + НП TiCN	121,6	24,0	59,9	22,5	43,9	2,6

После остановки мельницы обработанную композицию удаляли из барабана и отбирали из нее шарики, а остатки «сечки» в дальнейшем не использовали. При этом осмотр поверхностей стенок мельницы и шариков показал, что они, как и предполагалось, оказались покрытыми слоем оксида алюминия толщиной в десятые доли миллиметров.

Следует отметить, что оксид алюминия, присутствующий на частицах алюминия, обладает исключительно высокой твердостью – 22 ГПа [4] (по шкале Мооса – 9), с чем связана и его хрупкость, поэтому в процессе работы мельницы в результате силового воздействия перемещающихся внутри стакана шариков оксидная пленка разрушается, и освобождающийся алюминий «намазывается» на поверхности стакана и шариков, создавая защитный гарнизаж. Разрушение оксидной пленки на алюминиевом порошке в результате его обработки в шаровой мельнице было установлено и в работе [5], что авторы также объяснили ее хрупкостью.

На втором технологическом этапе в барабан мельницы, плакированный оксидом алюминия, загружали те же шарики (также плакированные оксидом алюминия) и композицию «сечка» + НП TiN в различном их соотношении. Обработку композиции производили в течение 10 мин при скорости вращения 600 об/мин.

Обработанную композицию прессовали в прутки разного диаметра при усилии прессования 20...23 т. При этом соотношение «сечка» + НП TiN в пределах 40/44 : 1 оказалось оптимальным в отношении качества прутка: чистота его поверхности оказалась сопоставимой с поверхностью прутков, отпрессованных из цельных заготовок алюминия, а внутренний объем имел волокнистое строение (рис. 5). При этом содержание НП TiN в прутке составляло порядка 2,4...2,5 %, что в среднем на 31 % больше, чем содержат прутки (1,8...1,9 % НП), изготовленные без смешивания частиц алюминия и НП TiN в планетарной мельнице.

По такой же технологии готовили композицию «алюминиевый порошок + НП TiN, из которой по описанной выше технологии прессовали прутки. При этом оптимальное соотношение этих компонентов оказалось равным 1 : 12, т. е. содержание НП TiN в прутке составило порядка 7,7 %, что в еще большей степени позволяет уменьшить массу вводимого в расплав прутка.

Испытания волокон на растяжение по методике [2] показало, что их временное сопротивление σ_v для композита «алюминиевая сечка» + НП TiN в среднем составляет 133,4 МПа, а для композита «алюминиевый порошок + НП TiN» – 138,5 МПа.

Увеличение прочности волокон по сравнению с применением ранее описанной технологии [1] можно связать только с предварительной обработкой прессуемых композиций в планетарной мельнице, в процессе которой происходит так называемая механоактивация [6] обрабатываемых материалов – процесс активирования твердых веществ механической обработкой, в данном случае шарами. При этом, помимо измельчения в обрабатываемых материалах происходит накопление структурных дефектов, увеличивается кривизна поверхности, могут происходить фазовые превращения и даже аморфизация кристаллов, что влияет на их химическую активность.

Механоактивация является сложным процессом, ход которого можно регулировать, варьируя большое число управляющих параметров, влияющих на энергетические, температурные и деформационные характеристики. К управляющим параметрам при использовании планетарных мельниц относится скорость вращения водила (диска), материал и размеры мелющих тел, материал барабана, суммарная масса мелющих тел, отношение объемов обрабатываемого материала и мелющих тел.

К основным характеристикам процесса механообработки относятся:

- скорость и частота соударений шаров;
- энергонапряженность;
- доза введенной механической энергии;
- локальная и фоновая температура;
- механические частоты нулевого, первого и второго порядков, характеризующие интенсивность пластической деформации порошка в ходе механоактивации.

Однако точное определение этих характеристик на сегодняшний день не представляется возможным. Их часто измеряют экспериментально [7], используя разного рода упрощения и допущения, пытаются оценивать аналитически [8], в рамках сильно упрощенных моделей, или определяют в ходе компьютерного моделирования [9]. Но при этом, как правило, удается получить только грубые оценки параметров.

В связи с этим, имея в виду сложность регулирования механизмов, имеющих место при соударении обрабатываемых в планетарной мельнице материалов с шарами и стенками барабана, полученные в настоящей работе результаты в виде повышенного содержания НП в волокнистых композитах достигнуты экспериментально путем варьирования содержаний обрабатываемых в мельнице материалов, количества шаров и числа оборотов в минуту мельницы.



Рис. 5. Типичный вид прутка, отпрессованного из различных композиций «алюминиевая сечка + НП TiN» и «алюминиевый порошок + НП TiN»: а – внешний вид прутка 6,0 мм; б, в – его внутреннее строение

Библиографические ссылки

1. Крушенко Г. Г., Фильков М. Н. Использование нанопорошков химических соединений для изготовления алюминиевых профилей с волокнистой структурой // Конструкции из композиционных материалов. 2010. № 3. С. 8–12.
2. Буров А. Е., Крушенко Г. Г., Москвичев В. В. Оценка прочности алюминиевого волокнистого композита, полученного с использованием нанопорошков // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9 ; Вестн. КазНУ им. аль-Фараби. Сер. Математика, механика, информатика. № 3 (42). (Совм. выпуск. Ч. 2). С. 353–358.
3. Крушенко Г. Г. Модифицирование доэвтектического алюминиево-кремниевого сплава нанопорошком нитрида титана при литье сложнонагруженных деталей транспортного средства // Технология машиностроения. 2008. № 11. С. 5–7.
4. Properties of aluminium oxide coating on on aluminium alloy produced by micro-arc oxidation / Xin Shi-Gang [et al] // Surface and Coatings Technology. 2005. Vol. 199. Iss. 2–3. P. 184–188.
5. Шеламов В. А., Литвинцев А. М. Физико-химические основы производства полуфабрикатов из спеченных алюминиевых порошков. М. : Металлургия, 1970.
6. Бодырев В. В. Экспериментальные методы в механике твердых неорганических веществ. Новосибирск : Наука, 1983.
7. Butyagin P. Yu., Pavlichev I. K. Determination of energy yield of mechanochemical reactions // Reactivity of Solids. 1986. Vol. 1. P. 361–372.
8. Iasonna A., Magini M. Power measurements during mechanical milling. An experimental way to investigate the energy transfer phenomena // Acta Materialia. 1996. Vol. 44. No. 3. P. 1109–1117.
9. Шелехов Е. В., Свиридова Т. А. Моделирование движения и разогрева шаров в планетарной мельнице. Влияние режимов обработки на продукты механоактивации смеси порошков Ni и Nb // Материаловедение. 1999. № 10. С. 13–22.

G. G. Krushenko, M. N. Filkov

TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF ALUMINUM COMPOSITE WITH HIGH CONCENTRATION OF REINFORCE NANOPOWDERS

The authors describe technology of production of aluminum composite with increased mechanical properties which was developed as a result of processing the composition consisted of aluminum particles and nitride titanium TiN nanopowder in planetary-ball-mills.

Keywords: aluminum composite, nanopowders chemical compounds, mechanical properties.

© Крушенко Г. Г., Фильков М. Н., 2011

УДК 620.22.621.763

Э. М. Никифорова, Р. Г. Еромасов, В. Ю. Таскин, В. И. Аникина

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты исследований дисперсных структур керамических масс с минерализаторами радиоспектроскопическими методами ядерного, магнитного и электронного парамагнитного резонансов.

Нашло экспериментальное подтверждение предположение, что морозостойкость керамических изделий в определенной мере зависит от изменений в степени подвижности молекул воды в заданном температурном интервале, а также от температур начала интенсивного торможения подвижности молекул воды и ее полного замерзания.

Повышение морозостойкости керамических материалов с низковязкими минерализующими добавками определяется созданием однородных структур с тонкими порами и капиллярами, не приводящих к миграции воды, пластическому перемещению льда и, как следствие, к внутреннему давлению в керамических изделиях.

Ключевые слова: керамические материалы, минерализатор, морозостойкость, термореологические свойства.

Оценка эффективности действия минерализаторов на процессы структурообразования керамических масс, их физико-технические свойства в зависимости от динамической вязкости минерализаторов нашла подтверждение

при применении радиоспектроскопических методов исследований керамических дисперсных систем.

Исследованы дисперсные структуры керамических масс с минерализаторами радиоспектроскопическими

методами ядерного, магнитного и электронного парамагнитного резонансов [1].

Радиоспектроскопические методы основаны на известном эффекте Зеемана, возникающем в системе магнитных моментов, взаимодействующих с постоянным магнитным полем. Магнитные моменты вещества, помещенного в магнитное поле, выстраиваются вдоль и против поля, образуют различные энергетические состояния, заселенные по закону Больцмана.

При воздействии на систему переменным электромагнитным излучением с частотой, происходят индуцированные переходы между уровнями, что связано с поглощением электромагнитной энергии:

$$\nu = (\gamma/2\pi) \cdot B_0,$$

где γ – гиромагнитное отношение; B_0 – волна постоянно-го магнитного поля.

Измерением зависимости поглощенной энергии от волны магнитного поля B_0 получены спектральные характеристики вещества.

В зависимости от природы магнитных моментов, ядерной или электронной, различают ядерный магнитный резонанс (ЯМР) и электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Вследствие наибольшей чувствительности метода на ядрах водорода H (протонах), наиболее частым является использование протонного магнитного резонанса (ПМР).

Методы радиоспектроскопии являются эффективными физическими средствами для получения информации на микроскопическом уровне при изучении кристаллической структуры, электронного строения и молекулярной подвижности в конденсированных средах.

Исследованы необожженные и обожженные при 900 и 1 300 °С керамические массы на основе глины Садового месторождения и каолина Просяновского месторождения в чистом виде, с минерализующими добавками, различающимися динамической вязкостью в данном температурном интервале: KCl, NaF, Na_3AlF_6 , шлам, стеклотобой.

Исследования образцов непрерывным и импульсным методом (ЯМР) проведены в Институте элементоорганических соединений (Москва), институте химической и биологической физики (Таллин) на спектрометрах фирмы «Брукер» (ФРГ), фирмы «Jeol» (Япония) и РЯ-2301 [1]. Рентгенофазовый анализ исходных веществ и спеченных смесей осуществляли на дифрактометре фирмы Shimadzu XRD-6000. Дифференциальный термический анализ проводили с использованием дериватографа фирмы Netchе Q-1500 в атмосфере воздуха. Образцы из керамических масс изготавливали методом полусухого прессования с рабочей влажностью прессования $W = 7-8\%$ в виде цилиндров диаметром 6 мм и длиной около 15 мм [1–3].

Структурные изменения при обжиге керамических масс исследовали методом ЭПР ионов Fe^{3+} , присутствующих в качестве примесей замещения в глинистом материале.

Спектр необожженной садовой глины имеет вид, характерный для кристаллического состояния с упорядоченной структурой. Обжиг приводит к трансформации спектра, обусловленной структурными изменениями. Эти изменения указывают на частичную аморфизацию

упорядоченного состояния при обжиге наряду с образованием кристаллических упорядоченных соединений. При этом ионы железа сосредоточены в аморфных состояниях спеченных керамических масс.

Исследование керамических масс с минерализаторами в виде 0,7–1,4 % NaF проводили методом ЯМР ядер фтора.

Установлено, что при обжиге до 1 300 °С минерализатор NaF не изменяет своей химической индивидуальности, очевидно, лишь участвуя в ряде промежуточных реакций, в частности, в растворении кремнезема и др.

Нашло подтверждение определение Гинзбургом [1] минерализатора как добавки, не входящей в конечном счете в состав синтезируемого тела, а только своим присутствием способствующей протеканию физико-химического процесса.

Из сравнений интенсивностей спектральных линий фтора установлен весьма существенный технологический факт отсутствия его летучести при обжиге всех исследованных типов глинистого сырья в интервале температур 900–1 300 °С.

Методом ЯМР протонов проведено изучение состояния воды в обожженных керамических массах при вариации состава исходного сырья, минерализующих добавок и температуры обжига, с учетом того, что количество поглощенной энергии высокочастотного поля прямо пропорционально количеству молекул воды в материале.

Спектральные линии керамических масс в исходном состоянии состоят из двух компонент: широкой, относящейся к гидроксильным группам OH кристаллических решеток данного глинистого материала, и узкой, обусловленной молекулами H_2O в состоянии интенсивной вращательной трансляционной подвижности.

Последнее обстоятельство позволяет отнести молекулы воды к поверхностно-сорбированным, не входящим в кристаллическую структуру. Обжиг приводит либо к полному исчезновению широкой компоненты, связанному с полной дегидратацией глинистого материала, либо к ее незначительному присутствию.

Количество связанной воды, оцененной из отношения интенсивности широкой и узкой компонент спектров ПМР, составляет несколько процентов от общего количества поглощенной образцом воды. В обожженных каолиновых массах спектр воды состоит из двух компонент, отвечающих двум различным энергиям связи молекул воды с поверхностью; в садовой глине все молекулы воды энергетически эквивалентны и более жестко связаны с поверхностью.

Из анализа спектров ПМР заметно, что с повышением температуры обжига снижается количество молекул воды, адсорбированных образцами. У образцов из каолиновой массы с минерализаторами KCl, NaF, обожженных при 1 200 °С, не наблюдается так называемой «жидкой воды», имеющей спектр ПМР модуляционной ширины, что свидетельствует о резком снижении открытой пористости образцов, создании такой керамической структуры, которая практически совсем не набирает воду. При увеличении температуры обжига от 900 до 1 300 °С происходит уменьшение водопоглощения приблизительно в 5–6 раз.

С точки зрения оценки эффективности действия минерализаторов на один из основных факторов эксплуатационной стойкости изделия – морозостойкость представляет интерес изучение процессов, происходящих при замерзании воды, а именно, ее молекулярной подвижности и температуры замерзания.

Исследование молекулярной подвижности при охлаждении керамики до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ показало, что процесс торможения молекул воды подобен процессам, имеющим место в широкополостных цеолитах (морденит, фожазит) и льдообразованию; при нагревании до комнатных температур процесс растормаживания молекул воды носит характер плавления льда.

Необходимо заметить, что спектр жесткой «замороженной» воды существенно отличается от спектра льда, свидетельствуя о больших расстояниях между молекулами воды в керамике.

Нашло экспериментальное подтверждение предположение, что морозостойкость керамических изделий в определенной мере зависит от изменений в степени подвижности молекул воды в заданном температурном интервале, а также от температур начала интенсивного торможения подвижности молекул воды и ее полного замерзания (рис. 1) (см. таблицу).

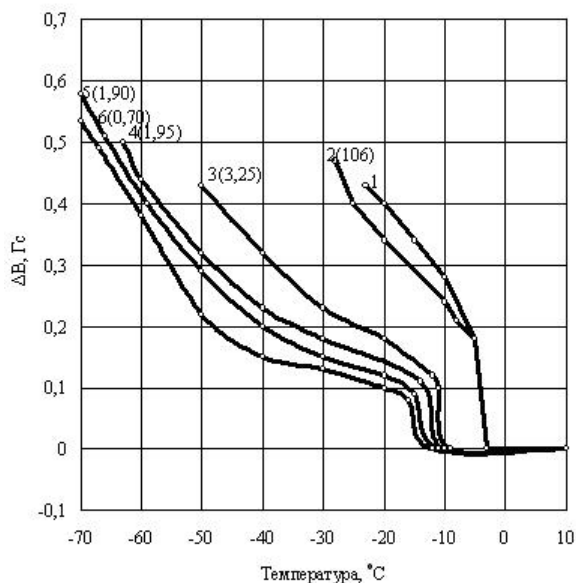


Рис. 1. Зависимость ширины узкой компоненты спектров ПМР масс из садовой глины ($t_{\text{обж}} = 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) от температуры охлаждения и типа минерализующей добавки: 1 – чистая глина; 2 – с добавкой стеклобой; 3 – Na_2CO_3 ; 4 – NaF ; 5 – со шламом; 6 – KCl

В этом смысле, добавка стеклобой приводит к существенным изменениям характера движения молекул воды от под-

вижного состояния к жесткому при охлаждении керамических образцов в весьма коротком интервале температур.

Уширение линии (рис. 1), свидетельствующее о начале замерзания воды, приводящем, в основном, к растрескиванию или разрушению образцов, происходит при той же температуре, что и у чистой глины ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$). С понижением вязкости минерализаторов происходит сдвиг начала интенсивного замерзания свободной воды в область более низких температур на $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$, полного ее замерзания на $35\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а также сглаживание процесса торможения (резкого перехода в изменении характера движения) молекулы воды, что, очевидно, снижает напряжение в замораживаемом изделии.

Повышение морозостойкости керамических материалов с низковязкими минерализующими добавками в виде KCl , NaF , Na_2CO_3 и шлама также определяется, очевидно, созданием однородных структур с тонкими порами и капиллярами, не приводящих к миграции воды, пластическому перемещению льда и, как следствие, внутреннему давлению в керамических изделиях [3].

При этом эффективность действия минерализаторов на вышеуказанные процессы уменьшается с ростом их вязкости в следующей последовательности (в скобках – динамическая вязкость минерализатора в $\text{Па}\cdot\text{с}$): KCl (0,7) > шлам (1,9) > NaF (1,9) > Na_2CO_3 (3,25) > стеклобой (10^6).

Выбор в качестве объекта исследований шлама алюминиевого производства (смешанные отходы шламового поля) основан на содержании в нем комплекса низковязких минерализующих компонентов.

Наиболее многотоннажные отходы алюминиевого производства – шламы газоочистки – представлены тонкодисперсным материалом черного цвета с размером частиц от 0,071 до 1,0 мм. Микроскопическое исследование шлама показало, что материал состоит из метаморфизованных угольных частиц графита, криолита, хиолита, корунда, флюорита, нефелина, диаспора и др. На дифрактограмме графит фиксируется по линиям с величиной $d/n = 0,338; 0,202; 0,169\text{ нм}$, корунд – $d/n = 0,208; 0,255; 0,160\text{ нм}$, криолит – $d/n = 0,193; 0,275; 0,233\text{ нм}$.

При нагреве шламов наблюдается эндотермический эффект при температуре $50\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$, относящийся к удалению гигроскопической воды; экзотермический эффект при $90\text{--}140\text{ }^{\circ}\text{C}$ связан с адсорбцией угольной массой кислорода из атмосферы; слабый эффект в интервале температур $180\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ относится к процессу дегидратации гидрооксида алюминия; эндотермический эффект в $340\text{ }^{\circ}\text{C}$ связан с потерей воды кристаллогидратом криолита; интенсивный экзотермический эффект при $350\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ определяет процесс выгорания углеродистой массы; экзотермический эффект с максимумом в $975\text{ }^{\circ}\text{C}$ связан с кристаллизацией стеклофазы.

Морозостойкость керамических материалов на основе садовой глины с минерализаторами

Наименование показателей	Вид и вязкость минерализатора, $\text{Па}\cdot\text{с}$					
	Без минерализатора	Стеклобой, 10^6	Na_2CO_3 , 3,25	NaF , 1,90	Шлам, 1,90	KCl , 0,70
Температура начала замерзания свободной воды, $^{\circ}\text{C}$	-4	-4	-8	-10	-12	-14
Температура полного замерзания свободной воды, $^{\circ}\text{C}$	-15	-25	-50	-65	-65	-70
Морозостойкость, цикл	35	35	125	180	180	180

Изменение фазового состава шлама в зависимости от температуры обжига (время выдержки 2 часа) фиксировали по дифрактограммам, полученным в интервале температур обжига 500–1 000 °С (рис. 2). Анализ дифрактограмм обожженного продукта при температуре 600 °С свидетельствует об отсутствии отражений минерала графита, что связано с практически полным выгоранием в данном температурном интервале углеродистой массы. При данной температуре зафиксировано изменение интенсивности отражений минерализующих компонентов в виде криолита, флюорита, давсонита, эльпазолита в сравнении с интенсивностью отражений минерализующих компонентов в шламе, не прошедшем термическую обработку. Начало снижения интенсивности отражений криолита (0,338 нм) и эльпазолита (0,234 нм) при 600 °С с максимумом этих процессов при 800–1 000 °С совпадает с ростом площади полосы рассеивания аморфной фазы в шламе, термообработанном при 600–1 000 °С – с максимумом при угле дифракции 22–32°. В интервале температур 800–1 000 °С происходит также снижение интенсивности отражений флюорита (0,165 нм) и давсонита (0,279 нм), что способствует увеличению фона аморфного продукта. В связи с этим, эндотермический эффект в интервале температур 600–820 °С следует связывать с плавлением солей и их эвтектических смесей, содержащихся в шламе, что подтверждается, в частности, данными П. П. Федотьева и В. П. Ильинского, обнаруживших эвтектику криолита и фтористого алюминия при 685 °С.

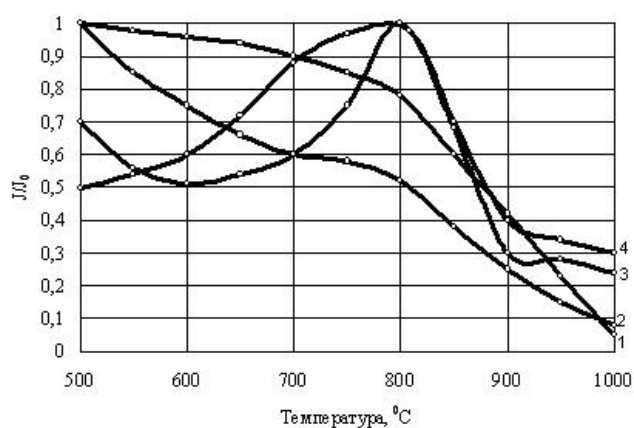


Рис. 2. Изменение отношений интенсивности отражения (I/I_0): 1 – криолита (0,338 нм); 2 – эльпазолита (0,234 нм); 3 – флюорита (0,165 нм); 4 – давсонита (0,279 нм) к максимальной интенсивности этих отражений (I_0) в зависимости от температуры обжига

Добавка шлама алюминиевого производства в количестве 6,3–12,6 %, содержащего низковязкий комбинированный минерализатор с $\eta_{850-1050^\circ\text{C}} = (4,60-1,84)$ Па·с, приводит к существенному повышению прочности образцов и снижению водопоглощения.

Так, при температуре 1 050 °С добавка 6,3 % шлама увеличивает прочность образцов на основе глины Садового месторождения (Красноярский край) на 88 %, глины Бадалыкского месторождения (Красноярский край) – на 55 %, глины Анзобинского месторождения (Иркутская область) – на 115 %, при этом водопоглощение снижается на 1,5–3,5 %. Эффективность воздействия шлама на

улучшение физико-механических показателей всех трех исследованных глин прослеживается уже с температуры 900 °С.

Это связано с возникновением при 850 °С расплава комбинированного минерализатора с низкой динамической вязкостью ($\eta_{850^\circ\text{C}} = 4,60$ Па·с) и доказывает его эффективность в сравнении с действием отдельных его составляющих, имеющих температуру образования расплава несколько ниже температуры плавления комбинированного минерализатора (на 30–150 °С).

При этом вязкость как отдельных минерализаторов, так и их комплекса находится в одних и тех же пределах ($\text{NaF}-\eta_{970^\circ\text{C}} = 1,90$ Па·с, $\text{Na}_3\text{AlF}_6-\eta_{975^\circ\text{C}} = 2,8$ Па·с, $\text{Na}_2\text{CO}_3-\eta_{853^\circ\text{C}} = 4,1$ Па·с, $\text{Na}_2\text{SO}_4-\eta_{884^\circ\text{C}} = 4,25$ Па·с и т. д.).

Особенно значительное воздействие оказывает добавка 6,3–12,6 % шлама на прочность образцов анзобинской глины, составляющую 35–38 МПа. Очевидно, это связано с наличием в анзобинской глине значительного количества карбонатов-доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ и кальцита CaCO_3 (25 %).

При введении в массу шлама с низковязким минерализующим компонентом происходит активное его воздействие на ускорение реакций между карбонатом кальция и свободной окисью кальция с продуктами распада глинистых минералов, а также на вовлечение CaO в эвтектические низковязкие расплавы. Значительное снижение содержания кварца указывает на его переход в расплав с вовлечением в него свободной окиси кальция, через который кристаллизуется дополнительное количество анортита.

Кроме того, реакционный оксид магния в керамической массе со шламом полностью связывается в диопсид, о чем свидетельствует отсутствие рефлексов периклаза и возрастание рефлексов диопсида. Таким образом, кристаллизация дополнительного количества таких технологически полезных кристаллических фаз, как диопсид и анортит, определяет высокие физико-технические свойства изделий из анзобинской глины со шламами.

Увеличение количества шлама с 6,3 до 12,6 % (т. е. с 1 до 2 % по катион-кислородному минерализующему компоненту) не приводит к существенному повышению прочности (на 5–25 %). Эффект интенсификации спекания керамических масс с добавками шлама связан с наличием в его составе графитизированного углерода (до 50 %), в связи с чем шламы являются эффективной топливосодержащей добавкой (теплотворная способность $Q_p^* = 20\,237$ кДж/кг), обеспечивающей равномерное распределение тепла по всему объему обжигаемого изделия. Исследования показали, что для низкосортного полиминерального глинистого сырья за счет введения 6–12 % шлама температура обжига керамической массы снижается на 100 °С без ухудшения физико-механических свойств материала. Низковязкие минерализаторы, вводимые в состав керамических масс с отходами промышленности, наиболее интенсивно способствуют спеканию масс, переводя его в область более низких температур на 100–150, что представляет определенный практический интерес и способствует значительному улучшению физико-механических и эксплуатационных свойств изделий стеновой керамики.

Сформулированные принципы оценки минерализаторов по их термореологическим свойствам позволили

выбрать, проверить и рекомендовать ряд перспективных отходов промышленности алюминиевой и плавиковошпатовой подотрасли, содержащих комплекс низковязких $\eta = (1,5-4,90)$ Па · с минерализаторов: растворы регенерации вторичного криолита, шламы, «хвосты» флотации флюоритовых руд, пыль электрофильтров, отработанная футеровка электролизеров, «хвосты» флотации угольной пены [4–6].

Данные отходы повышают прочность керамических материалов в соответствии с терморологическими свойствами минерализующего компонента на 40–250 % и морозостойкость на 50–150 циклов. На Красноярском кирпичном заводе технология керамических стеновых материалов с использованием в качестве минерализатора смешанных отходов шламового поля алюминиевого производства внедрена и принята ведомственной комиссией Главуралсибстроя России.

Таким образом, применение радиоспектроскопических методов исследований структуры керамических дисперсных систем с минерализующим компонентом экспериментально подтвердило взаимосвязь морозостойкости керамических изделий и температуры начала интенсивного торможения подвижности молекул воды и ее полного замерзания. Эффективность действия минерализаторов на процессы структурообразования керамических масс, их физико-технические свойства определяются в существенной мере динамической вязкостью минерализующего компонента в интервале температур обжига керамики.

Библиографические ссылки

1. Никифорова Э. М. Минерализаторы в керамической промышленности : моногр. / ГУЦМиЗ. Красноярск, 2004.
2. 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.
3. Никифорова Э. М. Эффективность действия минерализующих добавок / Э. М. Никифорова, А. И. Ефимов // Строительные материалы. 1984. № 7. С. 24–25.
4. Никифорова Э. М., Никифоров А. И. Пути утилизации отходов алюминиевого производства // Современные технологии освоения минеральных ресурсов : сб. материалов 7-й Междунар. науч.-техн. конф. / под общ. ред. В. Е. Кислякова. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. Ч. 2. С. 113–115.
5. Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Никифоров А. И. Способ получения корундовой керамики : решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2009127912/03 (038845), МПК С 04 В 35/111 (2006.1) от 20.07.2009.
6. Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Никифоров А. И. Сырьевая смесь для производства керамической облицовочной плитки : решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2009127913/03 (038846), МПК С 04 В 33/132 (2006.1) от 20.07.2009.

E. M. Nikiforova, R. G. Eromasov, V. Yu. Taskin, V. I. Anikina

STUDY OF PROCESSES OF REGULATING OF OPERATIONAL PROPERTIES OF CERAMIC MATERIALS

The work contains results of study of dispersion structures of ceramic mixtures with mineralizers conducted with radiospectroscopic methods of nuclear, magnetic and electron paramagnetic resonance.

The study confirmed the assumption that cold resistance of ceramic ware to certain extent depends on degree of water molecules mobility within the given temperature range, as well as on temperatures of starting of water molecules intensive inhibition and the temperature of water complete freezing.

Improvement in cold resistance of ceramic materials with low-viscosity mineralizing additives is defined by creations of homogeneous structures with fine pores and capillaries that do not lead to water migration, plastic ice displacement and, as a result, internal pressure within ceramic ware.

Keywords: *ceramic materials, mineralizer, cold resistance, thermorheological properties.*

© Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Таскин В. Ю., Аникина В. И., 2011

О. В. Раева, И. Я. Шестаков, О. В. Фейлер

О МЕХАНИЗМЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Широкому внедрению электрохимических методов обработки воды и водных растворов препятствуют энергозатраты, громоздкость оборудования и необходимость расходных материалов. В статье представлены результаты испытаний электрохимического способа очистки сточных вод промышленных предприятий и механизм этого процесса.

Ключевые слова: сточная вода, электрохимический способ, механизм процесса, переменный ток.

Проблемы водных ресурсов являются общемировыми. Загрязнены реки и озера, подземные источники (в частности, по России более 70 % рек и озер, и 30 % подземных источников загрязнены и потеряли питьевое значение). В большой мере причиной тому являются сточные воды гальванических производств, содержащие целый ряд ионов металлов, пагубно воздействующих на здоровье людей и окружающую среду. Попытки создания установок для нейтрализации сточных вод гальванических производств не дают положительных результатов, потому что на нейтрализацию направляют смешанные стоки, содержащие целый «букет» особо опасных тяжелых металлов. Из-за повышенного загрязнения природных водоисточников традиционно применяемые технологии обработки воды стали недостаточно эффективными [1–3].

К одному из наиболее перспективных направлений очистки воды следует отнести электрохимические методы и, в частности, электрохимические методы очистки воды на переменном токе промышленной частоты.

Однако, большое потребление электроэнергии, использование растворимых электродов ограничивают применение электрохимических процессов на практике.

В СибГАУ разработан способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов электрохимическим методом с применением нерастворимых электродов и переменного тока [4–6].

В настоящее время процессы на переменном токе мало изучены. Поэтому необходимо исследовать механизм и дать научное обоснование электрохимическим процессам на переменном токе, приводящим к повышению эффективности процесса очистки.

Для получения предварительных данных были проведены экспериментальные исследования электрохимического метода очистки сточных вод некоторых предприятий. Результаты исследований представлены в таблице и опубликованы в работе [7]. При обработке результатов экспериментов была выявлена характерная зависимость изменения тока от времени, которая наблюдалась только для электродной пары: титановый сплав ОТ 4-0 и нержавеющая сталь 12Х18Н10Т. Осциллограмма тока представлена на рис. 1.

На основе положений теоретической электрохимии, химии комплексных соединений и полученной осциллограммы ток–время предложен механизм перехода растворимых комплексов ионов металлов в нерастворимые комплексы (гидрооксиды) под действием переменного электрического поля.

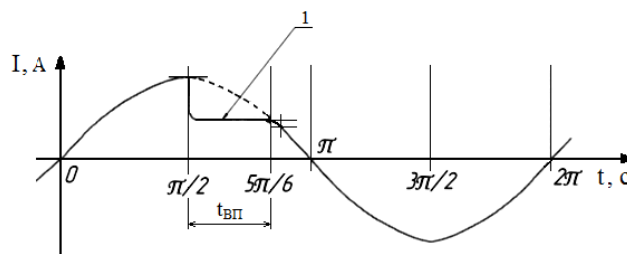


Рис. 1. Осциллограмма кривой ток–время: 1 – реальный ток

Во время анодного полупериода основная часть тока расходуется на растворение металла, а другая (в силу электрохимических свойств металла) – на образование пассивирующей окисной пленки. Так как титан – активный

Лабораторные результаты очистки сточных вод

Элемент	Начальная концентрация c_0 , мг/дм ³	Конечная концентрация c_k , мг/дм ³	Уменьшение в n (c_0/c_k) раз
ФГУП ЦКБ Геофизики, Красноярск			
Cu	1,15	0,283	4,1
Fe	9	1,15	7,8
Cr ⁺³	2,345	0,507	4,6
Cr ⁺⁶	3,88	1,217	3,1
Zn	1,04	0,375	2,3
Al	0,286	0,04	7
Mn	0,255	0,047	5,4
УФМПО, Уфа			
Fe	0,62	0,045 6	13,5
Cu	0,13	0,002 1	61,9
Mn	0,045	0,026	1,73
Ni	0,39	0,29	1,34

электрохимический металл, то в основном идет последний процесс. Образование пассивирующей пленки через некоторое время t после включения напряжения (рис. 1) приводит к резкому падению величины рабочего тока. Это объясняется каталитической активностью титана по отношению к водороду, обусловленной тем, что титан обладает значительным сродством к водороду и поглощает его с растворением в поверхностном слое. При катодной поляризации титана выделение водорода происходит несколько раньше, чем на инертных, по отношению к водороду, материалах, например ртути или свинце. Образующийся водород адсорбируется поверхностным слоем титана и десорбируется во время вынужденной паузы. Находящийся на титане водород находится в активном состоянии и играет важную роль в механизме электровосстановления ионов [8].

После резкого падения тока наступает время «вынужденной паузы» $t_{\text{вп}}$ (рис. 1). Вынужденная пауза (ВП) – это постоянная времени системы электрод–электролит, обусловленная природой материалов электродов и составом электролита. За время вынужденной паузы происходит полное или частичное выравнивание концентрации катионов металлов за счет их движения в объеме раствора. Потенциал системы электрод–электролит уменьшается медленно, что характерно для процессов с большой емкостью электрода и малым парциальным током обмена, и это обуславливает выпадение в осадок большого количества электроположительного компонента (образование гидроксидов металлов).

В процессе перевода растворимых комплексов металлов в нерастворимые комплексы можно выделить следующие основные положения.

1. Особую роль в электрохимических реакциях играют электроны и протоны. Химические свойства гидратированного и свободного протона имеют между собой мало общего. Это касается также и электрона. На поверхности металла находятся электроны, которые частично гидратированы. Степень гидратированности, концентрация гидратированных ионов, их подвижности на различных металлах – разные, что является одной из причин влияния материала электрода на электрохимические реакции.

Валентные электроны участвуют в элементарных актах реакций. Они в металлах частично локализованы у атомов, частично находятся в форме электронного газа Ферми (или электронной жидкости Ферми), т. е. это локализованные и коллективизированные электроны.

Величины концентрации коллективизированных электронов, будучи выражены в виде функции от атомных номеров металлов, обнаруживают периодичность, имеющую некую аналогию с периодической зависимостью потенциалов электровосстановления веществ.

На s - p -металлах достигаются наиболее отрицательные потенциалы в ходе процесса очистки. Со сдвигом потенциалов в отрицательную сторону увеличивается эмиссия гидратированных электронов с электрода, а также эмиссия водородных атомов и их образование за счет взаимодействия гидратированных электронов с молекулами воды.

Облако таких гидратированных электронов вблизи поверхности электрода может оказывать воздействие на

строение двойного слоя, образованного переменным током. Участие гидратированных электронов в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в растворах следующие: в анодный полупериод эти электроны могут беспрепятственно участвовать в электродной реакции, в катодный полупериод будет происходить восстановление ионов. В итоге результирующей реакцией окажется процесс восстановления вещества [8].

Можно допустить, что донорами электронов служат гидроксильные группы, входящие в состав ионных пар вблизи электрода и адсорбированный водород.

При этом быстрое изменение направления тока затрудняет разряд гидроксил-ионов OH^* (активные неустойчивые радикалы) и способствует участию их в реакциях с получением промежуточных соединений металлов низшей валентности (роль их довольно значима) [9].

Передача электронов происходит с участием одного или более адсорбированных атомов водорода. Рекомбинация атомов водорода – замедленная, что благоприятствует процессам на титановом электроде с участием адсорбированных атомов.

2. В процессе очистки большую роль играют гидратированные электроны, которые взаимодействуют с растворимыми комплексами металлов (ассоциатами) в момент вынужденной паузы [8]. Результатом этого взаимодействия является восстановление ионов металлов до низших валентностей, что в итоге приводит к образованию гидроксидов металлов. Важно отметить, что:

- материал электродов определяет активность и концентрацию гидратированных электронов;
- переменное электрическое поле способствует возрастанию роли гидратированных электронов в процессе очистки.

3. Предположительно, наличие различных ионов в растворе способствует образованию неоднородных по своему строению ассоциатов. Неоднородность возникает из-за того, что благодаря своей электронейтральности молекулы воды могут находиться как во внутренней, так и во внешней сферах ассоциата. Их количество определяется центральным ионом. Также молекулы воды могут присоединяться и к внешнесферному аниону. Определяющим является то, что молекулы воды могут притягиваться друг к другу, вследствие этого ассоциаты с разными центральными ионами возможно притягиваются друг к другу молекулами воды (существование ассоциатов, состоящих не из двух, а из большего числа ионов, и имеющих общую гидратную оболочку подтверждают источники). Переменное электрическое поле, деформируя гидратную оболочку ассоциатов, способствует отрыву молекул растворителя [8]. Вероятно, неоднородность ассоциата приводит к тому, что переменное электрическое поле воздействует на него не по всей внешней гидратной «оболочке», а лишь по ее части, имеющей во внешней сфере молекулы воды. Причем, при различном соотношении концентраций ионов, находящихся в растворе, структурная неоднородность ассоциатов будет разной, следовательно, степень очистки будет различной, что и подтверждают опыты.

4. Процесс очистки идет сверху раствора, что обусловлено тем, что на границе раздела двух фаз (воздуха и

раствора) можно выделить пограничный слой, так называемую поверхностную или пограничную фазу. Она обладает избытком свободной энергии по сравнению с каждой из граничащих фаз. Отношение этой энергии на единицу площади связано с силой поверхностного натяжения. Содержание компонентов в поверхностной фазе может быть существенно иным, чем в объеме фаз.

Известно, что более простые комплексы ионов металлов гидролизуются лучше, чем более сложные. Предполагаем, в верхней части раствора находятся более простые комплексы ионов металлов (гидраты, содержащие наименьшее количество молекул воды как во внешней, так и во внутренней сферах), а в других областях раствора присутствуют различные виды комплексов. Все это заставляет предполагать роль окружающей среды – воздуха – как значительного фактора, влияющего на процесс очистки.

Предполагаем (по аналогии влияния распределения электропроводности в межэлектродном зазоре на скорость растворения в источнике [10]), что в верхних слоях процесс нарастает быстро, в последующем – медленно затухает (замедляется долго); в нижних слоях – процесс нарастает медленно, но идет более эффективно, чем вверх.

Этот механизм предполагается исходя из различного строения комплексов ионов металлов.

5. Рис. 2–5 поясняют предполагаемый механизм.

Начальный момент времени показан на рис. 2. Ионы тяжелых металлов (ИТМ) находятся в виде комплексов с гидратной оболочкой и молекулами растворителя.

В ходе процесса под действием асимметричного переменного электрического поля происходит деформация гидратной оболочки и отрыв молекул растворителя (рис. 3).

Во время вынужденной паузы происходит выравнивание концентрации ассоциатов (комплексов) ионов металлов и гидратированные электроны взаимодействуют с ними (рис. 4).

Механизм образования гидроксида (конкретно, гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$) представлен на рис. 5. Под действием переменного электрического поля гидратированные электроны взаимодействуют с ассоциатом. Этот процесс является многостадийным, на рис. 5 показаны первая стадия и результат.

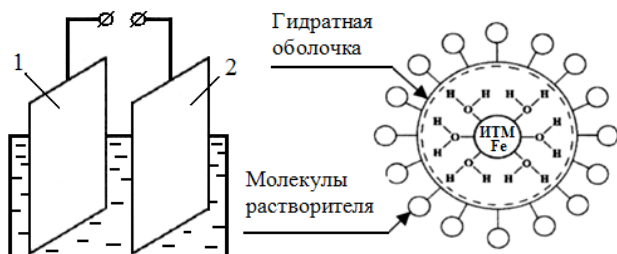


Рис. 2. Схема процесса очистки в начальный момент времени: 1 – титановый; 2 – стальной электроды

Процесс взаимодействия гидратированных электронов с растворимыми комплексами металлов можно объяснить следующим образом. Известно, что ионы гидроксила и водорода обладают значительно более высокой подвижностью в водных растворах, чем другие ионы. Это явление объясняется эстафетным или грот-

тусовским механизмом перемещения ионов водорода и гидроксила.

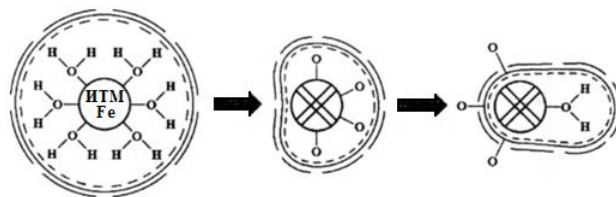


Рис. 3. Влияние переменного электрического поля на комплексы ионов металлов

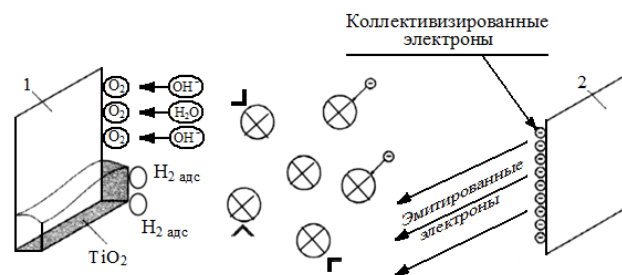


Рис. 4. Схема процесса очистки во время вынужденной паузы

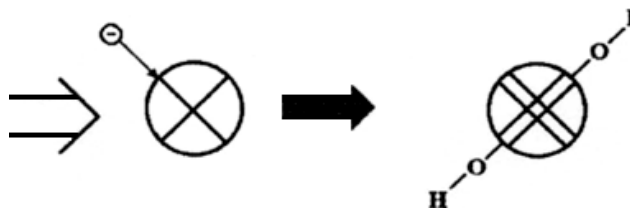
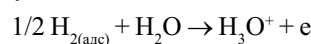


Рис. 5. Результат воздействия гидратированных электронов на ассоциат

Гидратированный электрон образуется при взаимодействии адсорбированного на титане атома водорода ($\text{H}_{2(\text{адс})}$) с молекулой воды:



При взаимодействии гидратированного электрона с активным неустойчивым радикалом образуется ион гидроксила:



Как и в унифицированной модели Дж. Ловелла передачи заряда в полимерах от одного места цепи сегмента в «ловушку» другой цепи с последующим туннелированием, образование гидроксида иона металла идет в несколько стадий в зависимости от валентности иона-комплексобразователя (число стадий равно заряду катиона-комплексобразователя):



Сначала ион гидроксила и молекула воды во внутренней сфере катиона-комплексобразователя электростатически притягиваются друг к другу. После сближения происходит процесс перескока протона из молекулы воды к иону гидроксила по схеме, представленной выше (вероятность передачи туннелированием является сильной функцией расстояния). Затем к ассоциату подходит дру-

гой ион гидросила, происходит подобное взаимодействие. В итоге образуется гидроксид катиона, а оставшиеся во внутренней сфере молекулы воды выталкиваются в водный раствор.

Электрод из титанового сплава, как это было установлено, практически выполняет функцию анода. За счет пульсирующего характера тока создаются благоприятные условия для восстановления ионов металлов, что подтверждается рядом исследований [8].

Дальнейшие работы будут направлены на установление зависимости степени очистки от параметров процесса и свойств удаляемых ионов.

Библиографические ссылки

1. Ключков Б. Я. Экологические проблемы гальванотехники // Машиностроитель. № 6. 1997. С. 33–35.
2. Водное хозяйство промышленных предприятий : справ. В 2 кн. Кн. 1 / В. И. Аксенов, М. Г. Ладыгичев, И. И. Ничкова [и др.] ; под ред. В. И. Аксенова. М. : Тепло-техник, 2005.
3. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод. М. : АСВ, 2004.

4. Способ очистки воды и водных растворов от анионов и катионов : пат. Рос. Федерации № 2213701 : С 02 F 1/46//С 02 F 103:16 / А. И. Стрюк, И. Я. Шестаков, А. А. Фадеев [и др.] : опубл. 10.10.2003. Б. И. № 28.

5. Установка очистки воды и водных растворов от анионов и катионов. Стрюк А. И., Шестаков И. Я., Фадеев А. А. [и др.] : а. с. № 18532, С 02 F 1/46. ; опубл. 27.06.2001. Б. И. № 18.

6. Шестаков И. Я., Вдовенко В. Г. Способ электрохимической очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов : а. с. № 1724591, С 02 F 1/46 ; опубл. 07.04.1992. Б. И. № 13.

7. Шестаков И. Я., Герасимова Л. А. Исследование электрохимических способов очистки воды и водных растворов от ионов тяжелых металлов : сб. статей / САА. Красноярск, 1996. С. 32–35.

8. Шульгин Л. П. Электрохимические процессы на переменном токе. Л. : Наука ; Ленингр. отд-ние, 1974.

9. Костин Н. А. Кинетика и электродные процессы в водных средах. Киев : Наук. думка, 1983.

10. Корчинский Г. А. Влияние конвективной диффузии на электрохимическое выпрямление // Журн. физической химии. Т. 55. № 10. 1981. С. 2650–2653.

O. V. Raeva, I. Ya. Shestakov, O. V. Feiler

ON MECHANISM OF DISCHARGED WATERS ELECTROCHEMICAL CLEANING WITH ALTERNATING CURRENT

Energy consumption, equipment unhandiness and need for consumable materials hinder wide implementation of electrochemical technologies for cleaning water and water solutions. This article presents the results of testing electrochemical method of industrial discharged water cleaning and the mechanism of the process.

Keywords: discharged waters, electrochemical method, mechanism of the process, alternating current.

© Раева О. В., Шестаков И. Я., Фейлер О. В., 2011

УДК 621.313:62-567

Р. Н. Хамитов, Г. С. Аверьянов, А. А. Татевосян

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ДЕМПФИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ АМОРТИЗАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложено виброзащитное устройство с электромеханическим демпфером для крупногабаритных объектов с пониженной вибрацией при динамических нагрузках. Виброзащитное устройство на базе электродвигателя рассматривается как электротехнический комплекс. Сформулированы задачи для развития данного направления виброзащиты.

Ключевые слова: активная система демпфирования, электромеханический демпфер, пневмоамортизатор, электротехнический комплекс.

Виброударозащитные устройства (ВЗУ) крупногабаритных объектов содержат амортизаторы различных видов и гидродемпферы [1]. Амортизатор обычно является пневмоамортизатором (ПА) с наличием воздушного демпфирования или без него. Для устранения виброударопо-

роводимости и других недостатков гидродемпфера в динамических режимах работы ВЗУ предлагается вместо них применять электромеханический демпфер на базе асинхронной машины (АМ). ВЗУ является комбинированным и содержит ПА, обеспечивающий статическую

нагрузку (несущую способность) ВЗУ, и электромагнитный демпфер на базе АМ, работающий только в динамических режимах работы ВЗУ. ВЗУ представляет собой электротехнический комплекс, предназначенный для преобразования механической энергии колебаний амортизируемого объекта (АО) в тепловую энергию, рассеиваемую в роторной цепи АМ, или в электрическую энергию, отдаваемую с помощью обратимых преобразователей в сеть (источник питания) АМ. Для проектирования оптимальных ВЗУ, выбора параметров компенсаторной силы АМ и режима торможения АМ необходимо разработать динамическую модель пневмоэлектромеханической системы «ПА – демпфер на базе АМ».

Пример запатентованной конструкции ВЗУ приведен на рис. 1. Блок управления ВЗУ обеспечивает работу демпфера только в режиме отбоя ПА (одностороннее демпфирование) на основе сигнала преобразователя перемещений. В качестве АМ используется трехфазный асинхронный электродвигатель (АД), работающий на ходе отбоя ПА в режиме торможения противовключением и создающий компенсационную электромагнитную силу [2].

Моделирование пневмоэлектромеханической системы в динамике построим на базе совместного рассмотрения процессов в пневматической, механической и электрической подсистемах, образующих комплекс ВЗУ в целом, на основе расчетной схемы и с учетом известных допущений. Если рассматриваемая одностепенная система (рис. 1, б) выведена из положения равновесия, то она совершает свободные колебания. При этом на систему действуют: сила инерции $M \cdot \ddot{z}$; сила тяжести Mg ; сила давления воздуха в объемах ПА (упругая сила); сила трения в резинокордной оболочке (РКО) R_Σ ; компенсаторная сила электромагнитного демпфера AF_3 .

В общем виде система дифференциальных уравнений движения АО для свободных колебаний запишется в следующем виде:

$$\begin{cases} \frac{dP}{dt} = -\frac{k \cdot P \cdot S_3 \cdot \dot{z}}{V_0 + S_3 \cdot z}, \\ \dot{z} = \frac{dz}{dt}, \\ M \cdot \ddot{z} + (P - P_0) \cdot S_3 + R_\Sigma \cdot \text{sign } \dot{z} + AF_3 \cdot \text{sign } z = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где z , $\dot{z}$, $\ddot{z}$ – вертикальные перемещения, скорость и ускорение АО; P – текущее давление сжатого газа упругого элемента ПА; A – режимный коэффициент электромагнитного демпфера; V_0 – начальный объем ПА при статическом положении АО; k – коэффициент адиабаты (для воздуха $k = 1,4$); M – масса АО; S_3 – эффективная площадь упругого элемента ПА; P_0 – давление сжатого воздуха упругого элемента ПА в статическом положении АО; R_Σ – сила трения в РКО.

Сила инерции $M \cdot \ddot{z}$ АО создает на валу АМ момент сопротивления M_c :

$$M_c = M \cdot \ddot{z} \cdot R_B, \quad (2)$$

где R_B – плечо приложения силы к валу АМ (радиус барабана).

Компенсаторная сила электромагнитного демпфера F_3 зависит от значения режимного коэффициента A и элек-

тромагнитного момента M_3 , создаваемого АД ($F_3 = M_3 / R_B$):

$$A = \begin{cases} 1 & \text{при } \dot{z} > 0, \\ 0 & \text{при } \dot{z} < 0. \end{cases} \quad (3)$$

В качестве модели электрической подсистемы рассматривалась модель трехфазной обобщенной асинхронной машины [3].

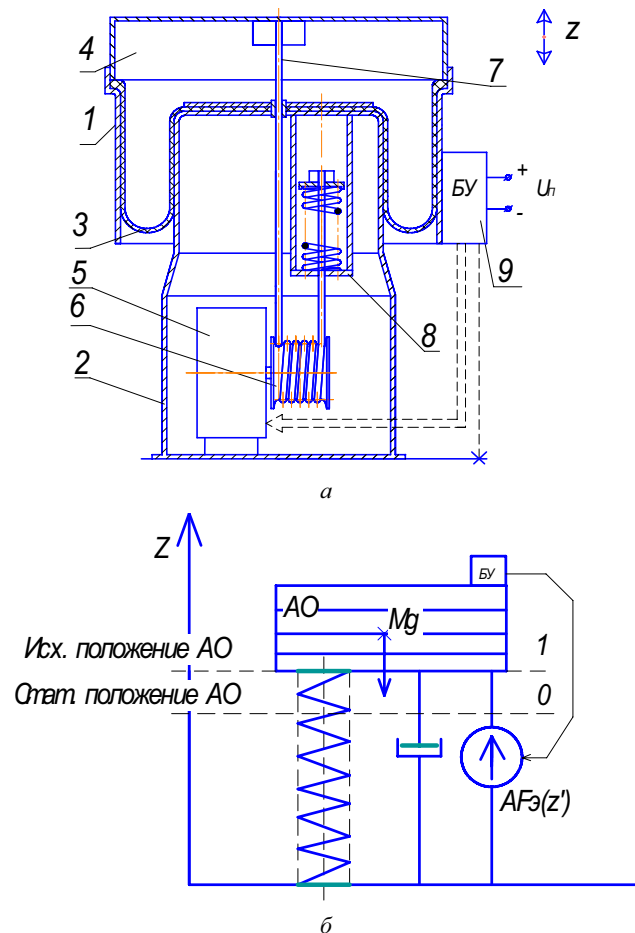


Рис. 1. Комбинированное виброзащитное устройство:
а – конструкция: 1 – подвижная часть (обойма);
2 – неподвижная часть; 3 – РКО; 4 – пневматический упругий элемент; 5 – АМ; 6 – барабан с тросом; 7 – трос; 8 – устройство натяга троса; 9 – блок управления;
б – расчетная схема динамики

Моделирование процессов в ВЗУ проводилось с помощью программы Matlab с расширением Simulink. Схема набора приведена на рис. 2.

Результаты решения системы уравнений для одностороннего демпфирования при свободных колебаниях приведены на рис. 3–5 при следующих параметрах ПА и АМ и исходных (начальных) данных:

1. Параметры ПА с РКО И-10: $M = 1\,500$ кг; $P_{\text{стат}} = 0,396 \cdot 10^6$ Па; $K = 1,41$; $S_3 = 0,03$ м²; $R_B = 0,05$ м; $g = 9,81$ м/с²; $R_\Sigma = 0,01$ Мг; $P_0 = 0,203 \cdot 10^6$ Па; $V_0 = 0,005$ м³; $Z_0 = 0,1$ м; $(dz/dt)_0 = 0$ м/с².

2. Параметры АМ: выбранная модель АД из библиотечных моделей – 10HP460V60Hz1760RPM, система координат – вращающаяся, связана с ротором (оси d и q); $P_n = 7,46$ кВт; $R_s = 0,683\,7$ Ом; $L_{ls} = 0,004\,152$ Гн; $R_r = 0,451$ Ом; $L_{lr} = 0,004\,152$ Гн; $L_m = 0,148\,6$ Гн; $J = 0,05$ кг·м²; $p = 2$.

3. Питающее симметричное трехфазное напряжение АД: $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$; $f = 50 \text{ Гц}$.

При расчете модели был выбран неявный метод интегрирования Рунге–Кутты в начале решения и метод, использующий формулы обратного дифференцирования 2-го порядка, в последующем – ode23tb с автоматичес-

ким выбором параметров метода. Время переходного процесса $t_{\text{пн}}$ определялось по «вхождению» кривой свободных колебаний АО в коридор $\pm 0,01 \text{ м}$.

Таким образом, на базе данной модели возможно оптимизировать режим колебаний управляемых ВЗУ АО, время переходного процесса при применении в качестве

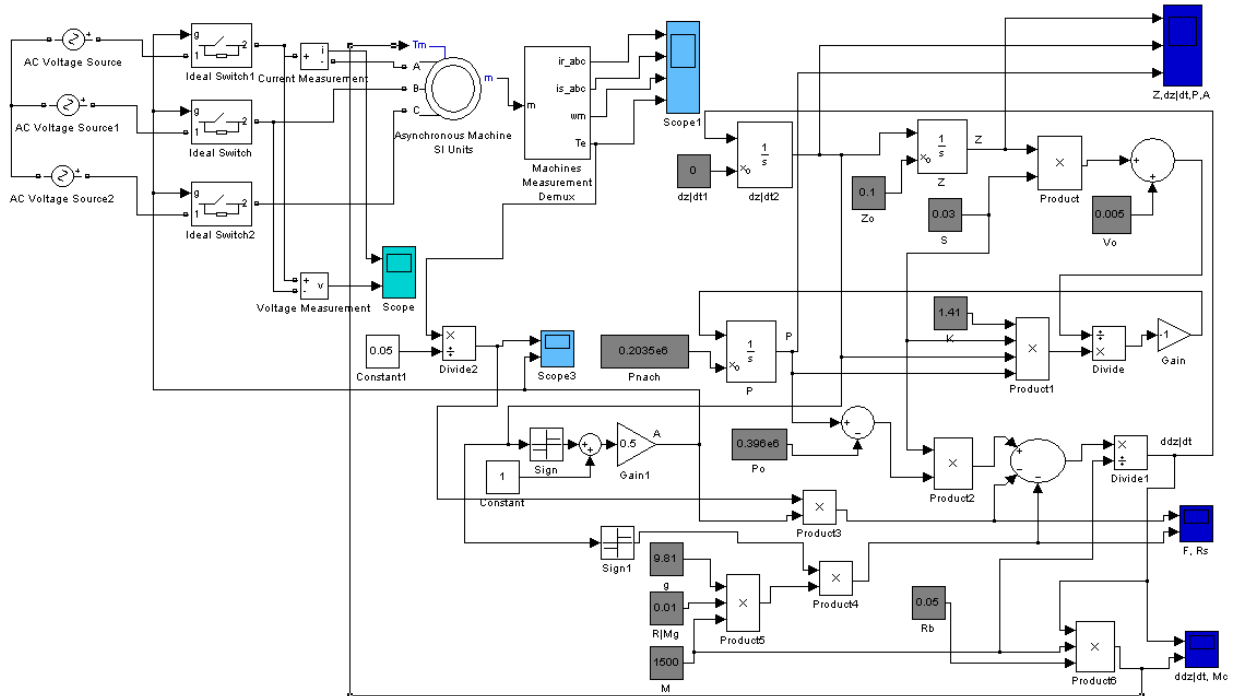


Рис. 2. Имитационная модель ВЗУ

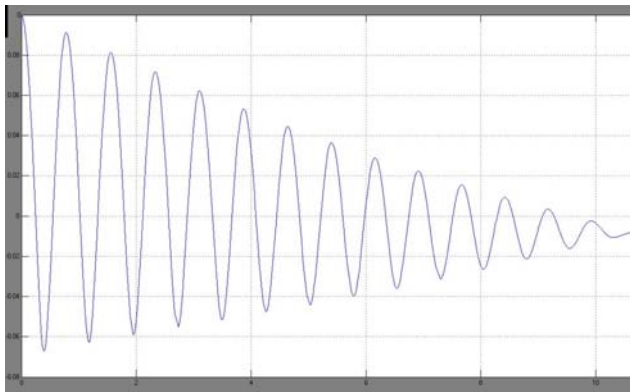


Рис. 3. Свободные колебания АО при отключенном электромеханическом демпфере $Z(t)$ ($t_{\text{пн}} = 10,8 \text{ с}$)

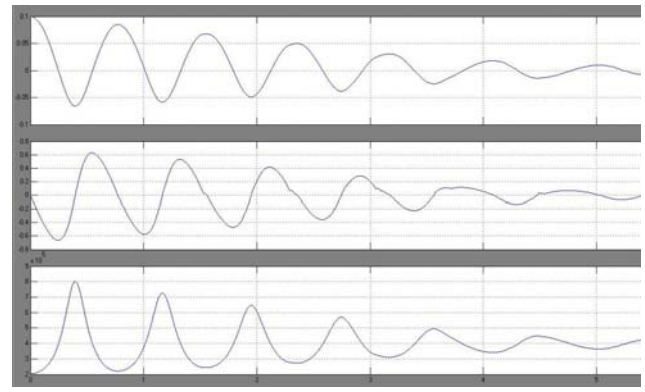


Рис. 4. Свободные колебания АО при включенном однофазовом электромеханическом демпфере $Z(t)$, $V(t)$, $P(t)$ ($t_{\text{пн}} = 6,5 \text{ с}$)

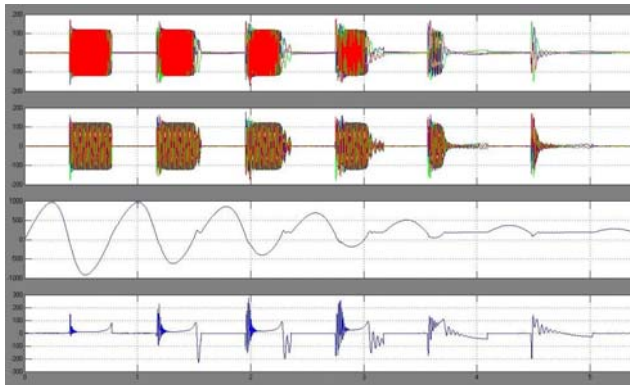


Рис. 5. Осциллограммы основных величин однофазового электромеханического демпфера $i_{\text{tot}}(t)$, $i_{\text{sr}}(t)$, $w(t)$, $M_s(t)$ ($t_{\text{пн}} = 6,5 \text{ с}$)

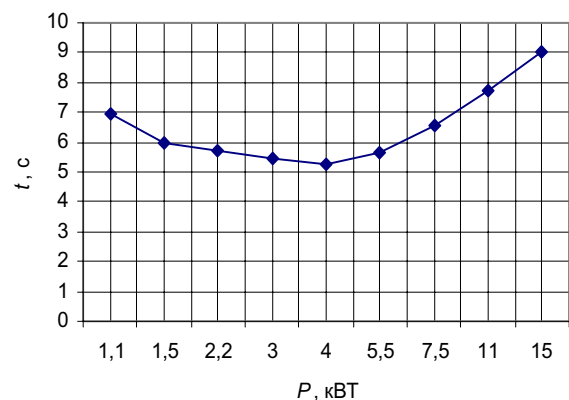


Рис. 6. Зависимость времени переходного процесса от мощности АД

демпфера АМ сократилось практически в два раза, т. е. АМ эффективно использовать в качестве демпфера в конструкциях «длинноходовых» ВЗУ.

При использовании в качестве демпферов АД серии РА производства Ярославского электромеханического завода, различных по мощности, при питании непосредственно от сети расчеты по данной модели показали результаты, приведенные в таблице и на рис. 6. Параметры схемы замещения АД определялись по методике, приведенной в [4]. При питании непосредственно от сети данного ВЗУ видно, что время переходного процесса снижается при росте мощности АД до значения 4 кВт, что является оптимальным значением для данного ВЗУ.

Предлагаемое направление по использованию ЭТК в ударовиброзащите может быть рекомендовано для более детального исследования и внедрения в системах амортизации крупногабаритных объектов. Достоинством использования АД в ВЗУ является их широкая номенклатура по типам, по мощности, по конструктивным исполнениям и т. д. [5; 6], что отвечает разнообразным условиям

эксплуатации систем амортизации крупногабаритных объектов, а также дает возможность регулирования их характеристик за счет частотного управления.

Библиографические ссылки

1. Гидропневматическая подвеска и ее упругодемпфирующие характеристики / Б. Н. Фитилев [и др.] // Инженерный журнал. 2007. № 11. С. 62–64.
2. Коловский М. З. Автоматическое управление виброзащитными системами. М.: Наука, 1976.
3. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высш. шк., 1987.
4. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. СПб.: КОРОНА-Принт, 2001.
5. Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / гл. ред. И. Н. Орлов. М.: МЭИ, 2003.
6. Электродвигатели. Каталог ВЭМЗ. Владимир: ВЭМЗ, 1997.

Расчет переходного процесса при различных по мощности АД

Марка двигателя	$P_{ном}$, кВт	R_s , Ом	R'_r , Ом	L_{ls} , Гн	L'_{lr} , Гн	L_m , Гн	t , с
РА90S4	1,1	10,389 4	2,3297	0,0103	0,0103	0,3794	6,95
РА90L4	1,5	7,080 5	1,787	0,0077	0,0077	0,2846	5,96
РА100LA4	2,2	5,379 7	1,6774	0,0057	0,0057	0,2396	5,7
РА100LB4	3	3,309	1,167	0,0039	0,0039	0,167	5,48
РА112M4	4	1,874 8	0,8179	0,0029	0,0029	0,1409	5,28
РА132S2	5,5	1,886 8	0,5303	0,0022	0,0022	0,138	5,66
РА132M2	7,5	1,686	0,3488	0,0016	0,0016	0,1012	6,59
РА160MA4	11	0,654 6	0,2107	0,0012	0,0012	0,0614	7,7
РА160ML4	15	0,397 8	0,1653	0,0008	0,0008	0,0483	9,0

R. N. Khamitov, G. S. Averjanov, A. A. Tatevosjan

ELECTROMECHANICAL DAMPING IN VIBRATION PROTECTION SYSTEMS OF LARGE-SIZE OBJECTS

The authors offer a vibration protection device with electromechanical damper for large-size objects with lowered vibration at dynamic loadings. The vibration protection device on the basis of electric motor is considered as an electrotechnical complex. Problems of development of the given vibration protection direction are formulated.

Keywords: active damping system, electromechanical damper, pneumoshock-absorber, electrotechnical complex.

© Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С., Татевосян А. А., 2011

ПРОБЛЕМА МОДЕРНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДНИХ МНОГОПРОФИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КОРПОРАТИВНОГО ТИПА

Анализируются капитализационные условия средних многопрофильных предприятий корпоративного типа и проблема осуществления их модернизации. Приводятся аргументы против формального подхода к модернизации, который весьма распространен в настоящее время и включает алгоритмизацию и компьютеризацию управленческой функции и процесса принятия решений. Указывается на необходимость анализа концепции системы организации труда предприятия и развития данной концепции первоначально на ментальном уровне.

Ключевые слова: средние многопрофильные предприятия корпоративного типа (СМПК), капитализационные условия корпораций и СМПК, система организации труда предприятия, модернизация управления предприятия.

В России в настоящий период имеется особая группа полипродуктовых предприятий средней численности, которые соединяют черты малого бизнеса, а также крупных многопрофильных компаний (корпораций) – средние многопрофильные предприятия корпоративного типа (СМПК). Опыт развития корпораций в индустриально развитых странах показывает, что эти предприятия можно рассматривать как перспективную стадию развития бизнеса, которая при благоприятных условиях трансформируется в крупные корпоративные формы. Примером в данном случае являются многие известные корпорации: 3M, Hewlett-Packard, Sony, IBM, Motorola и др. Поэтому данные предприятия сегодня имеют большое значение для экономики России.

На таком предприятии большинство акций принадлежит одному владельцу, семье или узкой группе акционеров [1; 2]. Неотъемлемая особенность СМПК заключается 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 несколько:

- старение собственников-управленцев и необходимость передачи управленческой функции более молодым менеджерам;
- нежелание собственника дальше заниматься 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.

Решение данной проблемы лежит на пути модернизации управления данных компаний. Многие собственники проявляют активный интерес к этому процессу. Здесь следует отметить, что сегодня, когда ставится цель модернизации управления СМПК, в большинстве случаев решают задачи совершенствования информационного обеспечения управления и механизма принятия решений через компьютеризацию системы управления (которая весьма сильно отличается от автоматизации) и алгоритмизацию и компьютеризацию бизнес-процессов.

СМПК имеют специфические организационные характеристики, которые значительно отличаются от аналогичных характеристик крупных корпораций (ОАО). Наиболее наглядно данное различие выявляется при сравнении капитализационных условий СМПК с аналогичными условиями, сложившимися в корпорациях (см. таблицу). Даже общий взгляд на данные, представленные в таблице, свидетельствует о кардинальном их различии.

Обычно под сущностью модернизации СМПК подразумевают развитие и формализацию ряда организационных аспектов с целью доведения их до уровня, максимально приближающегося к уровню организационного развития и формализации соответствующих аспектов ОАО. Примером может служить попытка руководства таких предприятий внедрить систему бюджетирования или организовать долгосрочное стратегическое планирование с использованием современных программных продуктов. Затрат на данные мероприятия, как правило уходит много, но ожидаемых результатов они не приносят. Поэтому рассмотрим данный вопрос более подробно.

Организация и формализация функций управления и процесса принятия решений в своей основе является отражением уровня развития системы труда на предприятии – труда как социально-экономической категории в широком, системном понимании. В широком контексте система труда предприятия включает: 1) структурный аспект – систему разделения и кооперации труда; 2) «отношенческий» аспект – уровень индивидуализации и коллективизации производственных отношений на предприятии*; 3) динамический аспект – подсистему саморазви-

* В данном случае под индивидуализацией и коллективизацией мы рассматриваем естественные психологические мотивы, которые заставляют людей вступают в трудовые альянсы.

**Капитализационные условия корпораций (ОАО)
в сопоставлении с аналогичными условиями СМПК**

Капитализационные условия	Субъекты хозяйствования	
	Корпорация (КП)	Среднее многопрофильное предприятие корпоративного типа
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 формализован и «завязан» 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 право 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 КП, в связи с тем, что основная форма организации – ООО
Цели компании	Поддержка эффективности основных направлений деятельности, освоение новых перспективных направлений и рынков	Реализация предпринимательской идеи, закрепление в перспективных рыночных нишах, повышение эффективности сложившихся направлений деятельности, расширение деятельности
Задачи	Сохранение рыночной позиции: максимально эффективное массовое производство широкой номенклатуры изделий и услуг, накопление резервного капитала, выявление тенденций изменения массовых рынков для своевременной переориентации бизнеса	Завоевание/сохранение рыночной позиции: сохранение доверия старого покупателя, завоевание нового; накопление капитала
Уровень формализации структуры, бизнес-процессов	Структура и бизнес-процессы четко формализованы, что приводит к высокому уровню управляемости компании, возможности контроля со стороны собственников и аутсайдеров	Структура формализована, но практически никогда не соответствует в полном объеме фактически установившимся регламентам, связям, соподчиненности. Бизнес-процессы чаще всего формализованы только на уровне техпроцессов
Количество направлений деятельности, номенклатура изделий и услуг	Как правило, большое количество направлений деятельности (три и более), широкая номенклатура изделий и услуг. Особенность: сознательно формируется эффект синергии – направления поддерживают друг друга	Близко к КП, но реже сознательно формируется совокупность направлений исходя из эффекта синергии, чаще – исходя из произвола собственника
Подходы высшего менеджмента к принятию решений	Рациональный, с высокой степенью формализации и логической обоснованности. Обусловлен ответственностью перед собственниками	Отчасти интуитивный, отчасти рациональный, так как собственник и высший менеджер – одно и то же лицо. «Владельческий контроль» бизнеса занимает центральное место
Наличие/отсутствие финансового планирования/бюджетирования, управленческого учета	В основном присутствует как система финансового планирования/бюджетирования, так и система управленческого учета	Частично поддерживается система управленческого учета, практически отсутствует система финансового планирования/бюджетирования
Состав управленческого персонала	Наемный управленческий персонал, отбираемый на конкурсной основе, высокий уровень профессиональной подготовки, стремление компании различными рычагами «удержать» лучших специалистов	По типу МП: наемный управленческий персонал, часто из числа родственников и знакомых. Как правило, низкий уровень квалификации
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

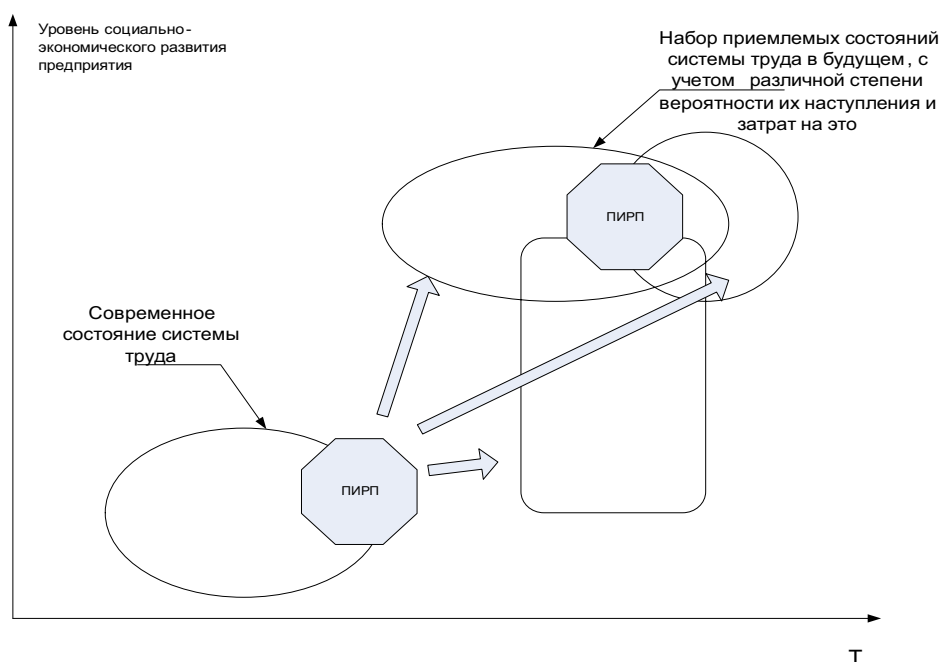
тия структуры и отношений данной системы труда. Кроме того, системы труда предприятия – открытая система, и она должна содержать модели включения данной социально-экономической системы в контекст существования и развития систем более высокого порядка – в социально-экономическую систему города, региона, страны и при необходимости – даже мира. Это требование времени. Таким образом, прежде чем приступать к вопросам модернизации, на предприятии должна быть сформирована концепция системы его труда в 4-х основных аспектах: структурном, «отношенческом», динамическом и в аспекте включения данной системы в контекст существования и развития систем более высокого порядка. В таком случае при модернизации предприятия появляется возможность подходить с системных, многофакторных позиций, другими словами, органично.

Утвердившаяся в управлении предприятия концепция системы труда лежит в основе всех управленческих, организационных и финансово-экономических подсистем, процессов информационного обмена и принятия решений. Она либо закладывает потенциал их развития, либо ограничивает их в развитии. Не может быть высокоразвитого управления и системы принятия решений на предприятии, которые в области концепции системы своего труда являются устаревшим. Но несмотря на это, формированию и развитию концепции системы труда предприятия, как правило, не уделяется должное внимание. Чаше всего в данном вопросе преобладает эклектический подход. Например, рассматривается отдельно один аспект системы безотносительно к другим. Так вопросы организации функциональных и линейных подразделений, делегирования прав и обязанностей по конкретным подразделениям, механизмов прохождения информации и управленческих решений по структуре предприятия (структурный аспект) могут рассматриваться безотносительно к «отношенческому» и динамическому аспекту.

Если бы вопрос об органичном развитии системы труда предприятия ставился во главу угла, то модернизация управления предприятием воспринималась бы, во-первых, как задача анализа и развития концепции его системы труда, и во-вторых, как формализация и компьютеризация конкретных процессов и систем.

На наш взгляд, концепция системы труда предприятия сегодня должна формироваться как динамическая во времени система и охватывать три основных временных среза: сегодняшнее состояние системы труда предприятия, набор идеальных состояний в отдаленном будущем с учетом вероятностей их наступления и затрат на это, а также набор переходных состояний в среднесрочной перспективе. Под словом «состояние» мы предполагаем систему характеристик предприятия, представленную в разрезе четырех вышеперечисленных аспектов. Формирование концепции системы труда в данных аспектах и в необходимых временных срезах, а также контроль проведения в жизнь принятых решений относительно модернизации предприятия – это совершенно отдельная функция управления, которая требует своего организационного оформления.

Для выполнения данной функции может быть предложено формирование в рамках системы управления подразделения, ответственного за модернизацию и развитие предприятия – подразделения инновационного развития предприятия (ПИРП) (см. рисунок). ПИРП должно принять на себя не только функцию генерации прогнозов и планов экономического развития предприятия (чем обычно сегодня занимается плановая служба), но и функцию комплексной, достаточно плавной, органичной трансформации всей системы труда. А такая трансформация требует совсем иных, нежели сегодня, способов сбора и оценки информации, форм проведения управленческих решений. Базовый уровень такой трансформации – это формирование проекта ментальной, культурологической модели перехода к будущей системе труда.



Схема, иллюстрирующая возможность разнообразных вариантов развития предприятия при условии внесения различных изменений в концепцию его системы труда

На данное предложение можно возразить тем, что система управления современным предприятием (особенно когда речь идет о среднем и малом предприятии) и так перегружена. И формирование еще одной службы вряд ли является экономически оправданным, когда все стремятся к снижению издержек.

Тем не менее, для эффективного развития предприятия в условиях динамично меняющейся внешней и внутренней среды без такого подразделения не обойтись. Для органичного изменения всех аспектов системы труда предприятия недостаточно только целей, планов и задач, сформированных на уровне руководства и плановых экономических служб и распределенных по исполнителям. Это обусловлено тем, что функция модернизации управления предприятием весьма сложна и должна выполняться на основе комплекса самых различных подходов. А это требует не только высокого уровня профессионализма в конкретных областях, но и достаточной универсальности знаний сотрудников, реализующих данную функцию.

Особое значение в этом вопросе имеет фактор гибкого изменения системы разделения и кооперации труда, поскольку, во-первых, это социально значимый вопрос, а во-вторых, будущие состояния имеют вероятностные характеристики. Подход к модернизации управления предприятием с точки зрения изменения концепции системы труда намного сложнее общепринятого сегодня функционального подхода. Но именно в этом заключается ключ к долговременному выживанию предприятий в высококонкурентной среде. Предприятие должно оперативно реагировать на изменение внешней среды, выявлять нарождающиеся тенденции и уметь гибко развивать свою систему труда с тем, чтобы в нужный момент перестроиться и вписаться в очередную волну прогресса. А способности к этому могут быть заложены только на уровне концепции системы труда предприятия.

Исходя из выше сказанного, в настоящее время модернизация системы управления предприятием не должна быть формальной, т. е. сводиться к алгоритмизации и компьютеризации управленческой функции и процесса принятия решений. Мало сформировать эффективную, актуальную сегодня структуру предприятия, нужно еще и сформировать механизм ее развития. Наступило время, когда систему организации труда необходимо анализировать на основе:

- передовых мировых образцов организации системы труда;
- перспектив, которые обуславливают развитие конкретного бизнеса.

Особое значение этот момент имеет для СМПК, так как данные предприятия, являясь промежуточной формой между малым и крупным бизнесом, часто стремятся развить и укрепить свою систему управления в надежде сделать бизнес более управляемым, подконтрольным собственнику. Такие попытки становятся более настойчивыми, если собственник вынужден уйти в сторону от активного управления. Но следует понимать, что формальный подход при модернизации СМПК влечет за собой три негативных эффекта. *Во-первых*, это потеря денег, которая заведомо не улучшит устойчивость и управляемость предприятия. *Во-вторых*, это негативный психологический аспект – успокоенность, которую приобретает руководство, думая, что вложенные деньги гарантируют определенную защищенность от проблем. *В-третьих*, это «консервирование» бизнеса, снижение его способности к самоизменению, поскольку деньги, затраченные на формальную модернизацию (компьютеризацию и алгоритмизацию бизнес-процессов, системы управления), будут тормозить разрушение созданной системы, даже если она покажет себя недостаточно эффективной или устареет, и препятствовать зарождению новых перспективных элементов и взаимоотношений.

Таким образом, модернизация управления СМПК в своей основе должна опираться на формирование наиболее современной концепции системы труда предприятия, на стратегию ее дальнейшего развития и включать гибкие механизмы «перенастройки» как собственно системы труда, так и атрибутов системы управления ею – системы информационного обеспечения, системы управления бизнес-процессами и пр. А формализация и компьютеризация организационных процессов должны закреплять достигнутые результаты в области совершенствования и развития системы управления, а не тормозить их.

Библиографические ссылки

1. Клейнер Г. Предприятие как фактор институциональной стабильности // Проблемы теории и практики управления. 2002. № 4.
2. Кондратьев В. В., Лоренц В. Я. Проектируем корпоративную архитектуру. М. : ЭКСМО, 2006.

L. R. Batukova

A PROBLEM OF MODERNIZATION MANAGEMENT OF THE AVERAGE VERSATILE ENTERPRISES OF CORPORATE TYPE

In the article are analyzed capitalization conditions of AVECT and a problem of modernization AVECT realization. The author leads arguments against a formalistic approach to modernization which is rather extended now and includes algorithmization and computerization of administrative function and decision-making process; it is underlined the necessity of the analysis of work organization system concept of the enterprise and development of the given concept originally at mental level.

Keywords: the average versatile enterprises of corporate type (AVECT), capitalization conditions of corporations and AVECT, the enterprise work organization system, enterprise modernization.

© Батукова Л. Р., 2011

ИНСТРУМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Рассматриваются способы и методы (инструменты) построения и совершенствования организационной структуры управления предприятием в условиях нестабильности внешней среды. Проводится сравнительная характеристика, определяются основные преимущества и особенности каждого из инструментов.

Ключевые слова: модель, матрица, процесс управления, структура, система, цель.

Изменяющиеся условия производственной деятельности предприятия во времени ведут к необходимости адекватного приспособления к ним системы управления, в том числе и организационной структуры управления. Речь идет, прежде всего, о такой организационной структуре, которая порождена объективной необходимостью и закономерностями рыночной системы хозяйствования, связанными с удовлетворением, в первую очередь, индивидуальных потребностей, обеспечением заинтересованности работников в наивысших конечных результатах, растущими доходами населения, регулированием товарно-денежных отношений, широким использованием достижений научно-технической революции. Все это требует от промышленных предприятий адаптации к новым рыночным условиям, преодоления возникающих противоречий в экономическом и научно-техническом прогрессах [1].

В этих условиях становятся актуальными вопросы по изучению совершенствования структуры управления предприятием. Рыночная экономика требует быстрого реагирования на изменение спроса, совершенствование и видоизменение продукции, технологий и способов управления и построения организаций. Не секрет, что каждая организация возникает и живет по-разному, по-разному реагирует на происходящие перемены. Совершенствование организационных форм управления – одна из важнейших задач, стоящих перед руководством предприятия.

Важной функцией управления является функция организации, которая заключается в установлении постоянных и временных взаимоотношений между всеми подразделениями фирмы, определении порядка и условий функционирования фирмы [2].

Функция организации реализуется двумя путями: через административно-организационное управление и через оперативное управление. Административно-организационное управление предполагает определение организационной структуры предприятия, установление взаимосвязей и распределение функций между всеми подразделениями, предоставление прав и установление ответственности между работниками аппарата управления.

Это предполагает формирование организационной структуры предприятия, определение факторов и методов построения организационной структуры. То есть происходит процесс создания или улучшения организационной структуры, взаимосвязь входящих в нее служб, их интеграция и дезинтеграция. На этом этапе также происходит расстановка руководящих кадров служб и подразделений, процесс формирования должностных инструкций, а также разграничения полномочий и ответствен-

ности, выделяются линейные и штабные службы или отделы. Исходя из сущности данного процесса, можно назвать его проектом. Элементом формирования или совершенствования организационной структуры предприятия является организационный инструментарий [3]. Выделяются следующие виды организационного инструментария [4]:

1. Сетевые матрицы (более высокий уровень научной разработки «сетевых графиков»):

- представляют весь процесс построения организационной структуры в наглядной форме;
- выявляют состав и структуру работ и приемлемые средства и методы их выполнения;
- анализируют взаимосвязи между исполнителями и работой;

– готовят научно обоснованный скоординированный план выполнения всего комплекса работ для более эффективного использования имеющихся ресурсов и сокращения сроков.

2. Матрица разделения административных задач управления (РАЗУ): используя эту матрицу в системе управления, можно разделить в команде проекта обязанности, права и ответственность всех участников проекта и на этой основе построить организационно-динамическую структуру и информационную систему.

3. Информационно-технологическая модель (ИТМ): помогает осуществлять проектирование технологии управления проектом, т. е. фиксацию последовательности и взаимосвязи решения управленческих задач.

Сетевые графики и сетевые матрицы. Процесс построения или совершенствования организационной структуры предприятия состоит из многих стадий и этапов, выполняемых различными исполнителями. Этот сложный процесс должен быть четко скоординирован и увязан во времени. К системам планирования и управления предъявляются следующие требования:

- способность оценить текущее состояние;
- предсказать дальнейший ход работ;
- помочь выбрать правильное направление для воздействия на текущие проблемы с тем, чтобы весь комплекс работ был выполнен в установленные сроки согласно бюджету.

На этапе планирования происходит определение последовательности выполнения работ, входящих в состав ИСР, результатом чего является *сетевой график*. Этот график представляет информационно-динамическую модель, отражающую взаимосвязи между работами, необходимыми для достижения конечной цели проекта.

Сетевой график является также полезным при разработке крупных систем, в которых заняты многие исполнители работ, для оперативного руководства разработками.

На сетевом графике изображаются все взаимосвязи и результаты всех работ, необходимых для достижения конечной цели разработки, в виде ориентированного графа, т. е. графической схемы, состоящей из точек – вершин графа, соединенных направленными линиями – стрелками, которые называются ребрами графа. Продолжительность работ может быть определена при наличии норм трудоемкости работ соответствующим расчетом; при отсутствии норм трудоемкости – экспертно. На основании сетевого графика и оценки продолжительности работ рассчитываются основные параметры графика.

Возможно два подхода к построению сетевых моделей. При первом подходе стрелками на графике изображаются работы, а вершинами – события. Такие модели относят к типу «работа–стрелка» и называют сетевыми графиками. При втором подходе, наоборот, стрелкам соответствуют события, а вершинам – работы. Такие модели относят к типу «работа–вершина» и называют сетями предшествования (каждая последующая работа связана с предшествующей ей). Примеры данных типов моделей показаны на рис. 1, 2.

Работами являются любые действия, приводящие к достижению определенных результатов – событий. Со-

бытия, кроме исходного, являются результатами выполнения работ. Между двумя смежными событиями может выполняться только одна работа или последовательность работ.

Для построения сетевых моделей необходимо определить логические взаимосвязи между работами. Причиной взаимосвязей являются, как правило, технологические ограничения (начало одних работ зависит от завершения других). Комплекс взаимосвязей между работами определяет последовательность выполнения работ во времени.

При управлении проектной деятельностью нередко применяются средства создания иерархических сетевых моделей. Процесс построения сети производится по шагам. В первую очередь, создается корневой уровень иерархической сети, который состоит из структурных переходов системы работ, представляющих ее модули. Также на этом этапе создаются места, моделирующие точки взаимодействия. Эти места и структурные переходы соединяются дугами в соответствии с этапом реализации проекта. Следующие три шага генерации выполняются последовательно для каждого модуля. На втором шаге генерируется сеть, реализующая модуль. Эта сеть, в свою очередь, будет содержать структурные переходы. На этом этапе построения дуги не создаются, а достраиваются на следующем шаге, где создаются подсети, соот-

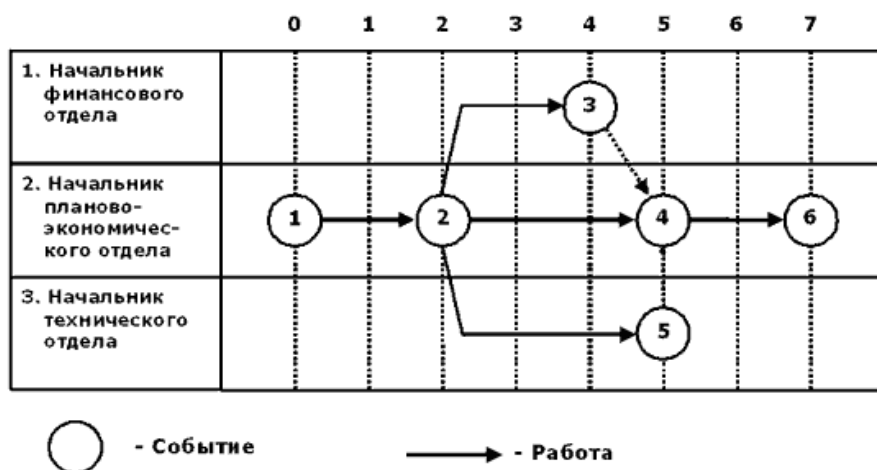


Рис. 1. Сетевая модель типа «работа–стрелка» – сетевой график

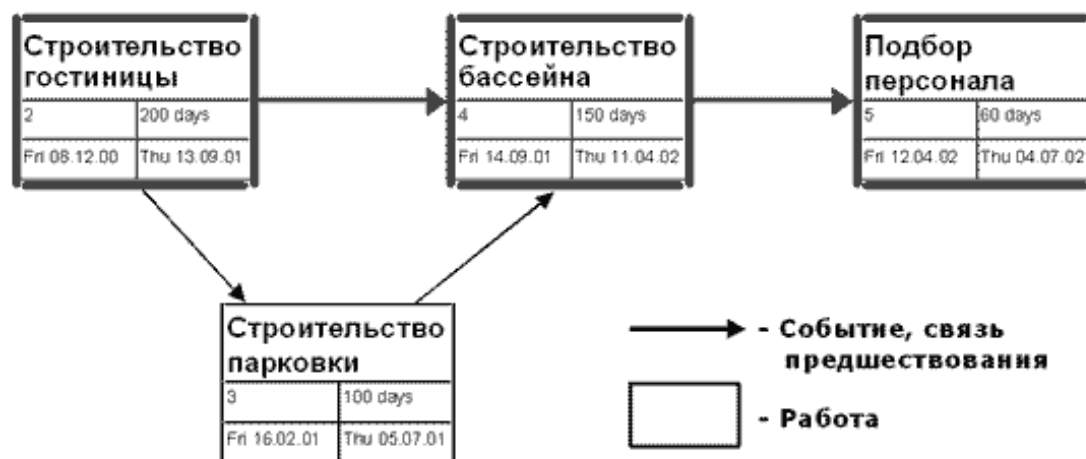


Рис. 2. Сетевая модель типа «работа–вершина» – сеть предшествования

ветствующие структурным переходам. После этого транслируются отдельные операторы. В процессе построения такой сети создаются дуги для сети второго уровня. На четвертом шаге создаются структурные переходы, реализующие процедуры и функции, если таковые есть. На завершающем шаге – оптимизация сети – удаляются все пустые переходы, т. е. переходы, имеющие пустые тела и не имеющие выражений на выходных дугах.

Сетевые матрицы, как было сказано выше, – это более высокий уровень научной разработки сетевых графиков. Они представляют собой «графическое изображение процессов осуществления проекта, где все работы (управленческие, производственные) показаны в определенной технологической последовательности и необходимой взаимосвязи и зависимости» [5].

Сетевая матрица совмещается с календарно-масштабной сеткой времени, которая имеет горизонтальные и вертикальные «коридоры»: горизонтальные «коридоры» характеризуют ступень управления, структурное подразделение или должностное лицо, выполняющее ту или иную работу; вертикальные – этап и отдельные операции процесса управления проектом, протекающие во времени.

Процесс построения сетевой матрицы на основе сети предшествования («работа–вершина») включает в себя следующие действия. В первую очередь, это определение участников реализации проекта, распределение их иерархически и оформление в виде таблицы – построено сверху вниз в соответствии с занимаемым в проекте положением. Определяется, что каждый может делать и что от него реально требуется для нужд проекта.

Затем составляется список работ, выполнение которых необходимо для достижения поставленных целей. Используя, например, метод критического пути, определяется порядок выполнения работ. Далее, пометив работы условным обозначением (круг, квадрат и пр.), их распределяют в ячейки календарно-масштабной сетки, в которую помещается модель, а ее элементы соединяются впоследствии стрелками, иллюстрирующими, в свою очередь, последовательность работ.

При построении сетевой матрицы используются три основных понятия: работа (включая ожидание и зависимость), событие и путь.

Работа – это трудовой процесс, требующий затрат времени и ресурсов. В понятие «работа» включается процесс ожидания, т. е. процесс, требующий затрат не труда и ресурсов, а времени, который изображается пунктирной стрелкой с обозначением над ней продолжительности ожидания.

Событие – результат выполнения всех работ, входящих в данное событие, позволяющий начинать все выходящие из него работы; на сетевой матрице событие обозначается, как правило, в виде кружка.

Путь – непрерывная последовательность работ, начиная от исходного события и заканчивая завершающим; путь, имеющий наибольшую продолжительность, называется критическим и в матрице обозначается утолщенной или сдвоенной стрелкой.

Выделяют следующие параметры сетевых графиков:

- время раннего начала данной работы;

- время раннего окончания данной работы;
- время позднего начала данной работы;
- время позднего окончания данной работы;
- полный резерв времени данной работы;
- частный резерв времени данной работы;
- коэффициент напряженности работы.

То есть видно, что практически все параметры связаны с временным ограничением работ, на основе чего можно с уверенностью утверждать, что применение сетевых графиков в общем и сетевых матриц в частности призвано обеспечить, в первую очередь, планирование сроков выполнения различных работ. Методы сетевого планирования – это «методы, основная цель которых заключается в том, чтобы сократить до минимума продолжительность проекта» [3], что, в свою очередь, позволит более рационально спланировать работы и ресурсы на стадиях проектной деятельности, некоторые или все из которых будут выявлены именно в результате построения сетевой матрицы.

Матрица разделения административных задач управления. Матрицу РАЗУ можно рассматривать как средство согласования входов и выходов системы. Ее составляют следующие элементы:

- в наименованиях столбцов располагаются входы – функциональные подразделения, службы, должности участников проекта;
- в графах наименований строк перечисляются задачи, т. е. виды деятельности, составляющие процесс управления проектом;
- в поле матрицы условными знаками обозначаются функции преобразования, связывающие совокупности входов и выходов.

Таким образом, матрица разделения административных задач управления обеспечивает, в первую очередь, наглядность планирования работ конкретно для определенных должностных лиц либо подразделений организации [6]. И среди функций управления (преобразования) при проектировании матрицы РАЗУ выделяют:

- ответственность за решение той или иной задачи управления проектом;
- содержание деятельности исполнителя по реализации задачи;
- содержание деятельности исполнителя по подготовке и техническому обслуживанию реализации задачи.

Матрица РАЗУ позволяет обоснованно разделить задачи по подразделениям и службам аппарата управления, а также обеспечить их комплексную реализацию. Матрица представляет собой таблицу, в столбцах которой располагаются наименования подразделений, а в строках перечисляются выполняемые ими задачи. Условными знаками обозначаются отношения каждого подразделения или конкретного работника к решению задачи.

Деятельность по реализации функций управления при проектировании матрицы РАЗУ характеризуется с трех направлений:

- 1) ответственность за решение той или иной задачи управления;
- 2) содержание деятельности исполнителя по реализации задачи;
- 3) содержание деятельности исполнителя по подготовке и техническому обслуживанию реализации задачи.

В соответствии с приведенной классификацией предлагается список условных обозначений, которые символизируют те или иные аспекты деятельности по осуществлению функций управления:

Я – единоличное решение и персональная ответственность (с правом подписи);

! – персональная ответственность за решение задачи при коллегиальной форме принятия решения (с правом подписи);

Р – участие в коллегиальном решении задачи (без права подписи);

П – планирование – проектирование оптимального результата в условиях действия заданных ограничений по времени и ресурсам;

О – организация – определение путей, методов, средств достижения планируемого результата;

К – контроль – система прогнозирования отклонений для их своевременного предупреждения;

Х – координация совместных усилий участников процесса управления;

Т – исполнительство – процесс практической реализации решений;

М – подготовка предложений, детальная разработка предварительных намерений.

Количество и содержание символов определяется условиями функционирования реальных систем, которые и являются объектами для моделирования.

Информационно-технологическая модель управления. Информационно-технологическая модель представляет собой модель процесса управления, содержащую описание порядка и условий решения задач управления. В ней отражается, как должна быть решена конкретная задача, кто участвует в ее решении, кто несет ответственность за организацию этого решения, какая информация необходима для решения.

Разработка и внедрение ИТМ обеспечивает:

– создание условий в системе управления, при которых промежуточные результаты производства надежно обеспечили бы конечные результаты;

– устанавливает последовательность выполнения объективно необходимых задач управления производством и определяет условие их решения;

– усиливает объективные и научные условия процесса управления, исключает субъективный фактор;

– четкое разделение и специализацию труда;

– координацию решения взаимосвязанных задач управления;

– стандартизацию приемов и методов решения однотипных управленческих задач;

– определение трудоемкости и оценку качества решаемых задач;

– организацию стимулирования участников управления.

Назначение ИТМ заключается в следующем:

– описание процессов управления структурных подразделений;

– описание процессов выполнения крупных задач.

ИТМ графически отображает технологическую последовательность решения задач с указанием информации, исполнителя, документа, потребителя.

ИТМ обеспечивает:

– наглядность описания принятой логики основных комплексов задач;

– проверку взаимодействия между различными службами и структурными подразделениями в информационном плане;

– проверку качества системы оценок деятельности отдельных структурных подразделений и служб предприятия;

– проверку взаимодействия с внешней средой;

– адресацию конкретных проектных документов отдельным подсистемам.

Основные положения разработки ИТМ:

– каждая задача со всеми ее элементами на схеме представлена вертикальной линией;

– все элементы системы изображаются символами (кодами); связь между задачами и документами показана прямой линией (рис. 3).

ИТМ – это модель процесса управления, содержащая стандартизованное описание порядка и условий решения задач управления проектом. Главное ее предназначение – описание технологии управления проектом, т. е. фиксация последовательности и взаимосвязи решения всего комплекса задач по управлению проектом.

Выделяют следующие этапы разработки ИТМ:

– разрабатываются информационные таблицы (см. таблицу);

– формируются информационно-технологические модели на базе информационных таблиц; ответственность за решение той или иной задачи управления проектом; содер-

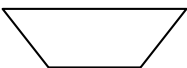
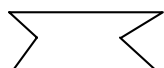
	Процедура задачи
	Документ
	Исполнитель
	Ответственный исполнитель
	Взаимосвязи

Рис. 3. Символы и коды элементов системы

жание деятельности исполнителя по реализации задачи; содержание деятельности исполнителя по подготовке и техническому обслуживанию реализации задачи – функции преобразования, встречающиеся в матрице РАЗУ;

– формируется сводная модель управления, являющаяся эффективным организационным инструментом для построения системы обеспечения целевых функций управления.

Для построения информационно-технологической модели необходимо:

– выделить целевые функции управления, что отображается в строках первого (левого) столбца таблицы;

– определить обеспечивающие подсистемы (они указываются в наименовании остальных столбцов);

– установить место каждой задачи (из информационных таблиц) в модели.

Для этого следует проверить соответствие задачи целевой функции управления обеспечивающей подсистеме и записать ее в соответствующий квадрат матричной модели.

В результате получается сводная модель управления, которая позволяет проанализировать выполнение всех целевых функций управления и построить классификатор работ по исполнителям. Он представляет собой практически должностную инструкцию исполнителя, по которой удобно работать специалисту и которая легко контролируется руководством.

Рассмотренный материал показывает особую схожесть таких организационных инструментов, как мат-

рица РАЗУ и ИТМ. Сходство заключается в том, что в обоих случаях проводится согласование различных элементов системы проектной деятельности. При этом матрица РАЗУ согласует задачи, стоящие перед исполняющей структурой, и конкретного исполнителя с указанием работ и ответственности. А информационно-технологическая модель отражает взаимосвязь между целевыми функциями и обеспечением достижения целей. В этом заключается схожесть матрицы РАЗУ и ИТМ. В то же время сетевые модели отражают взаимосвязь работ (ресурсов) и результатов только лишь на определенном этапе проекта.

Библиографические ссылки

1. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента. М. : Дело, 2004.
2. Виханский О. С., Наумов А. И. Менеджмент. М. : Фирма «Гардарика», 2002.
3. Основы проектного управления : учебник / под ред. проф. М. Л. Разу. М. : КноРус, 2006.
4. URL: http://tw48.narod.ru/slides_03/PM_03.files/frame.htm#slide0040.htm (дата обращения 10.11.2010).
5. Модер Дж., Филлипс С. Метод сетевого планирования в организации работ : пер. с англ. М. ; Л., 1966.
6. Чередникова Л. Е. Управление стратегическими изменениями: теоретические аспекты, методологические подходы и инструментарий : учеб. пособие. Новосибирск : НГУЭУ, 2008.

Пример информационной таблицы при построении ИТМ

Наименование задачи, решаемой в процессе управления	Содержание информации, необходимой для решения задачи	Источники информации, необходимой для решения задачи	Документ, получаемый в результате решения	Исполнители задачи (документа)	Срок исполнения задачи	Потребители данного документа

A. A. Boiko, M. V. Tolstopiatova

TOOLS FOR PERFECTION OF BUSINESS MANAGEMENT STRUCTURE

In the article the authors consider ways and methods (tools) of construction and perfection of organizational structure of business management under conditions of insecurity. The authors carry out comparative characteristic the basic advantages and features of each of tools.

Keywords: model, a matrix, managerial process, structure, system, the purpose.

© Бойко А. А., Толстомятова М. В., 2011

СТРУКТУРА СТАВКИ ДИСКОНТИРОВАНИЯ С ПОЗИЦИЙ РИСКОВОГО ПОДХОДА

Ставка дисконтирования является важным инструментом оценки инвестиций, ценных бумаг и других финансовых расчетов. Авторами предложен подход, основанный на разделении заложенных в ставку дисконтирования рисков по иерархическому признаку: на риски странового уровня, отраслевые риски и риски уровня предприятия.

Ключевые слова: ставка дисконтирования, фактор риска, корреляция.

Аксиомой всех финансовых операций является утверждение о том, что рубль, полученный сегодня, стоит больше, чем рубль, который мы получим в будущем. Скажем больше, это девиз, который должен украшать кабинет любого финансиста и аналитика инвестиций. Инструментом, который позволяет произвести оценку этого временного обесценивания денег, является ставка дисконтирования. Теория финансово-экономических расчетов накопила большой объем системных знаний как по объяснению экономического смысла этого показателя, так и по методикам его расчета. Один из подходов трактует сущность дисконтирования как приведение разновременных экономических показателей к какому-то одному моменту времени, который называется точкой приведения.

Дисконтирование применяется при оценке вложений в ценные бумаги, определении эффективности капитальных вложений и других инвестиций.

К сожалению, в настоящее время в большинстве разрабатываемых в России инвестиционных проектов очень редко уделяется серьезное внимание обоснованию выбранной для них ставки дисконтирования. А между тем размер ставки дисконтирования имеет принципиальное значение при оценке результативности инвестиционного проекта, так как ставка дисконтирования – это тот инструмент, от правильности определения которого зависит расчет всех экономических показателей инвестиционного проекта и, в конечном итоге, принятие решения о реализации инвестиционного проекта или отказе от него. Чувствительность этих расчетов к верному определению ставки дисконтирования достаточна велика.

Существует несколько подходов, связанных с определением ставки дисконтирования. Согласно Методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов и отбору для финансирования [1], ставка дисконтирования определяется как ставка выше банковского процента по вкладам на срок, аналогичный сроку инвестиционного проекта. Это обосновано тем, что если ставка дисконтирования будет меньше либо равна банковской ставке, инвесторы не будут вкладывать средства в проект, а разместят их на депозите. Превышение ставки дисконтирования над банковской ставкой включает в себя уровень инфляции, а также надбавку за риск. Если это превышение будет большим, чем уровень инфляции плюс надбавка за риск, то это повлечет перетекание денег в инвестиции, повышенный спрос на деньги и повышение банковского процента.

При использовании заемного капитала методические рекомендации предлагают брать WACC – средневзвешенную цену капитала, которая определяется как взвешенная по долям сумма ставок по собственному и привле-

ченному капиталу, скорректированная на ставку налогообложения.

В составленных в 1993 г. методических рекомендациях [1] подчеркивается, что в условиях российской переходной экономики норма банковского процента не является адекватной ставкой дисконтирования, поэтому каждая компания сама определяет с учетом налогов и риска приемлемую норму доходности, которая и выступает ставкой дисконтирования. При оценке народнохозяйственной эффективности норма дисконта должна устанавливаться государством как специфический социально-экономический норматив, учитывающий предпочтения общества в различные периоды времени.

Согласно сайту «Википедия» [2] ставка дисконтирования зависит от следующих факторов:

- стоимости альтернативного вложения средств на данный период: ставки банковского процента по депозитам, ставки рефинансирования, средней доходности уже имеющегося бизнеса и т. д.;
- уровня инфляции;
- оценки риска неполучения средств в период действия проекта.

Другая модель определения ставки дисконтирования, предложенная на сайте «Википедия», показывает взаимосвязь долевого и долгового ценных бумаг. Согласно данной модели доходность акций включает в себя доходность облигаций плюс премии за риск. Модель предполагает следующие составляющие ставки дисконтирования:

- базовая ставка – ставка доходности по облигациям данного эмитента, включающая в себя премию за кредитный риск;
- премия за страновой риск для владельцев долевого инструмента (учитывает риск вложения средств в долговые инструменты, характерный для российского рынка акций по сравнению с облигационным рынком);
- премия за отраслевые риски (учитывает волатильность денежных потоков, обусловленную отраслевой спецификой);
- премия, связанная с риском некачественного корпоративного управления;
- премия за риск неликвидности акций эмитента.

Итоговая ставка дисконтирования является суммой данных составляющих.

Во всех рассмотренных вариантах вычисления ставки дисконтирования предполагается, что она включает в себя некоторую базовую величину (ставку рефинансирования, безрисковую ставку, ставку по облигациям) и одну или несколько надбавок за риск. Если базовую ставку конкретно определить в зависимости от ситуации возмож-

но, то точных методов определения надбавок за риск в литературе и законодательстве не представлено.

В самом общем случае при выборе ставки дисконтирования руководствуются простой формулой: ставка дисконтирования равна ставке рефинансирования (в которой скрыты риски макроуровня) плюс риски. Но четких рекомендаций, как рассчитывать эти риски, не дается.

Отправным пунктом наших исследований будет тот неоспоримый факт, что инвестиционный проект будет привлекательным для инвестора только в том случае, если норма его доходности будет выше нормы доходности любого другого способа вложения капитала с аналогичным риском. Другими словами, ожидаемая норма доходности инвестиционного проекта должна компенсировать снижение реальной стоимости инвестиций, вызванное многочисленными факторами риска, скрытыми на временном интервале, соответствующем его реализации.

При учете этих факторов риска предлагается различать следующую иерархичную трехуровневую структуру: макроэкономические рисковые показатели, рисковые показатели, обусловленные принадлежностью предприятия к определенной отрасли, и, наконец, показатели риска, которые зависят от индивидуальных характеристик субъекта инвестирования.

С учетом вышесказанного, размер ставки дисконтирования определяется действующими на интересующем нас временном интервале факторами риска, влияющими на результативность проекта. И чем в большей степени этот временной интервал «утрамбован» различного рода рисками, тем в большей степени сказывается эффект обесценивания денег на этом интервале. В числе этих факторов, как уже указывалось, следует выделить факторы макроэкономического уровня, зависящие от условий хозяйствования в каждой отдельно взятой стране, факторы мезоуровня, которые определяются отраслевой принадлежностью предприятия, и факторы микроуровня, формирующиеся на уровне отдельно взятого предприятия.

Соответственно, в структуре ставки дисконтирования следует четко выделять три иерархических уровня. В общем случае:

$$R = R_c + R_o + R_n, \quad (1)$$

где R_c – величина странового риска; R_o – величина риска, определяемого отраслевой принадлежностью предприятия; R_n – величина риска, определяемого внутренними факторами риска предприятия.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что простое сложение рисков различных уровней будет неминуемо приводить к неоправданно завышенным размерам ставки дисконтирования, так как учет влияния рисков макроуровня на результативность инвестиций будет частично дублироваться на рисках мезо- и микроуровня,

а влияние рисков мезоуровня аналогичным образом будет частично дублироваться на микроуровне. Например, такой фактор маркоэкономического уровня, как большая степень износа средств производства, в той или иной степени дублируется и на уровне отдельно взятой отрасли, и на уровне отдельно взятого предприятия. Причем этот фактор риска на уровне отдельно взятого предприятия может быть как выше, чем в целом по стране или по отрасли, так и ниже этих значений, в зависимости от конкретного положения дел на предприятии. Для того, чтобы избежать этого двойного и тройного эффекта частичного наложения отдельных факторов рисков, принадлежащих различным иерархическим уровням, следует использовать механизм корреляции. Тогда формула (1) приобретет более сложный вид:

$$R = R_c + kR_o + gR_n, \quad (2)$$

где k – коэффициент корреляции, исключающий дублирующее действие рисков макроуровня на риски мезоуровня; g – коэффициент корреляции, исключающий дублирующее влияние рисков мезоуровня на риски микроуровня.

Для расчета R_c , R_o , R_n и их корреляционных коэффициентов потребуется разработка новых методик, основанных на статистических показателях реализации аналогичных инвестиционных проектов в предшествующих периодах.

Часть факторов – слагаемых требуемого уровня доходности инвестиционного проекта – должна покрывать риски возможного обесценивания инвестируемых средств, вызванные макроэкономическими условиями его реализации. К этим факторам, в первую очередь, следует отнести страновой риск или, более конкретно, инфляционный, политический и другие риски, которые могут рассматриваться как отдельные составляющие странового риска. Для количественного их измерения могут использоваться фактические уровни доходности имеющихся в экономике вариантов инвестирования капитала.

Следующим уровнем составляющих факторов ставки дисконтирования являются факторы, обусловленные отраслевой принадлежностью предприятия, и, наконец, последняя составляющая – факторы, формирующиеся на уровне конкретного предприятия и связанные с особенностями реализации конкретного инвестиционного проекта.

Библиографические ссылки

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и отбору для финансирования [Электронный ресурс] : Постановление Совета министров Правительства РФ от 15.07.1993 г. № 683. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Википедия: сайт [Электронный ресурс]. URL: www.wikipedia.org.

T. V. Vashenko, A. V. Zinenko

STRUCTURE OF DISCOUNT RATE IN TERMS OF RISK APPROACH

Discount rate is an important tool for valuation of investments, securities and other financial estimates. The authors offer an approach based on division of risks included into discount rate into three groups: state risks, branch risks and company risks.

Keywords: discount rate, risk factors, correlation.

© Ващенко Т. В., Зиненко А. В., 2011

Ю. В. Ерыгин, Л. В. Ерыгина, С. А. Максимов

СБАЛАНСИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ – ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЛИНГА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Представлен анализ существующих систем показателей стратегического контроллинга. Предлагается алгоритм формирования системы сбалансированных контроллинговых показателей, обеспечивающей согласование стратегического и оперативного уровня управления.

Ключевые слова: контроллинг, инновации, ракетно-космическая промышленность, сбалансированная система показателей.

В последнее десятилетие российская экономика оказалась перед новыми долговременными системными вызовами и угрозами, среди которых можно отметить следующие:

- усиление глобальной конкуренции, охватывающей не только традиционные рынки товаров, капиталов, технологий и рабочей силы, но и системы национального управления, поддержки инноваций, развития человеческого потенциала;

- ожидаемая новая волна технологических изменений, усиливающая роль инноваций в социально-экономическом развитии и снижающая влияние многих традиционных факторов роста;

- возрастание роли человеческого капитала как основного фактора экономического развития;

- исчерпание потенциала экспортно-сырьевой модели экономического развития, базирующейся на форсированном наращивании топливного и сырьевого экспорта, выпуске товаров для внутреннего потребления за счет догрузки производственных мощностей в условиях заниженного обменного курса рубля, низкой стоимости производственных факторов – рабочей силы, топлива, электроэнергии [1]. Очевидно, что в этих условиях безальтернативным является инновационный путь развития, переход к которому возможен на базе реализации конкурентных преимуществ в области высоких технологий, модернизации и создания высокотехнологичных производств.

Изменение роли инноваций в развитии экономики приводит к необходимости повышения значения инновационного управления, выхода его на корпоративный уровень, что, соответственно, предъявляет новые требования к инструментам и методам управления.

В этом случае особое внимание необходимо уделить контроллингу как наиболее перспективному направлению в разработке новых подходов к управлению предприятием, соединяющих теории принятия решений, информационного обеспечения и организационного моделирования. Контроллинг наряду с другими новейшими управленческими инструментами становится для менеджеров основной возможностью не только устоять в рыночных коллизиях, но и добиться ускоренного прогресса компании. В условиях тотального сокращения времени на принятие взвешенных управленческих решений и адаптацию к новым условиям, а также ограниченности внутрихозяйственных возможностей для привлечения дополнительных ресурсов, использование контроллинга в управлении предприятием становится все более привлекательным. Это осо-

бенно важно для предприятий с длительным циклом производства, требующих постоянных и больших финансовых вложений в силу специфики их деятельности. Нестабильность внешней среды, скорость реакции менеджеров на ее изменение, важность непрерывного мониторинга производства, смещение акцента с контроля прошлого на анализ будущего – вот основные причины внедрения элементов контроллинга как продуманной системы действий по обеспечению выживаемости предприятия и предотвращению кризисных ситуаций.

Контроллинг располагает большим багажом различных инструментов и методов, которые широко применяются на многих отечественных предприятиях (бюджетирование, управленческий учет и др.), но наибольший интерес представляют современные методы и инструменты, практикующиеся в наиболее продвинутых зарубежных и совместных компаниях. Речь идет о применении систем показателей в качестве инструмента управления по достижению поставленных стратегических целей и реализации разработанной стратегии развития.

Как правило, показатели не служат непосредственно целям контроллинга, в связи с чем во многих случаях необходим их отбор, систематизация и дополнение. Для того чтобы показатели были применимы для контроллинга, они должны отражать состояние и результаты деятельности различных сфер предприятия, обладать актуальностью, компактностью, динамичностью, ориентировать на прогнозирование, допускать сравнение.

Из-за ограниченной информативности отдельных показателей возникает необходимость в использовании систем показателей, которые позволяют не только количественно охарактеризовать и оценить ситуацию, но и вскрыть причины ее возникновения, а также провести структурно-логический анализ влияющих факторов. Системы показателей представляют собой иерархическую структуру особым образом взаимосвязанных между собой показателей [2].

Существует достаточно большое количество различных систем показателей, которые в практике предприятий используются уже длительное время, однако объективно оценить эффективность их использования в качестве инструмента управления непросто. Объясняется это в основном двумя обстоятельствами: во-первых, наиболее распространенные системы часто ориентируются на уже имеющиеся данные, без фокусирования внимания на узких местах в управлении, в результате чего возникает опасность образования «кладбища чисел» с весьма низкой информацион-

ной ценностью; во-вторых, традиционные подходы обычно ограничиваются денежными показателями [3].

В последнее время появились новые системы показателей, которые пытаются устранить эти недостатки, так называемые модели (концепции) измерения достижений. В научно-исследовательской работе «Инструменты контроллинга инновационного развития предприятий ракетно-космической промышленности (РКП), осуществляющих реструктуризацию», проводимой в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.», авторами рассматриваются, в частности, следующие системы: сбалансированная система показателей, модель стратегических карт Л. Мейселя, пирамида деятельности компании К. Мак-Найра, Р. Линча и К. Кросса, оценка эффективности деятельности и роста – система EP2M (Effective Progress and Performance Measurement), универсальная система показателей деятельности Х. Рамперсада и др.

Появление сбалансированной системы показателей [4–6], разработанной Робертом Капланом и Дэвидом Нортоном, было вызвано довольно активной критикой финансовых показателей как основы принятия управленческих решений, которая велась на страницах ряда академических и профессиональных изданий по менеджменту и управленческому учету. Эта критика в равной степени была направлена как на ретроспективный (исторический) характер традиционных учетных показателей, явно не соответствующий потребностям стратегического управления, так и на их несостоятельность при описании ключевых бизнес-процессов и отображении вклада тех неосознаваемых активов, которые реально создают стоимость в условиях высокотехнологичного, инновационного производства.

Система предусматривает декомпозицию стратегии в разрезе четырех проекций: финансы, клиенты, внутренние процессы, обучение и рост. Показатели, с помощью которых количественно измеряется степень достижения стратегических целей, объединены причинно-следственными связями. Система позволяет поддерживать баланс между финансовыми и нефинансовыми показателями, стратегическим и операционным уровнем управления, прошлыми и будущими результатами, а также между внутренними и внешними аспектами деятельности организации.

Система предусматривает следующую цепочку действий:

перспективы → стратегические цели → показатели.

Модель стратегических карт Л. Мейселя выделяет 4 ключевых аспекта, по которым проводится оценка бизнеса компании [7]. Но вместо аспекта обучения и экономического роста Мейсель использует аспект трудовых ресурсов. В рамках этого аспекта оценке подлежат инновационная деятельность, обучение и подготовка персонала, совершенствование продукции, формирование базисной компетенции фирмы и корпоративной культуры. В целом модель не слишком отличается от модели Р. Каплана и Д. Нортона. Выделение отдельного аспекта трудовых ресурсов Л. Мейсель аргументирует тем, что менеджеры обязаны уделять первостепенное внимание и уметь оценивать эффективность деятельности как организации в целом, так и ее сотрудников.

Основная идея модели под названием «пирамида деятельности компании», авторами которой являются К. Мак-Найр, Р. Линч и К. Кросс, состоит в ориентации на потребителя и выявлении связи между общей стратегией компании и финансовыми показателями ее деятельности, дополненными еще несколькими коэффициентами нефинансового характера [7]. Пирамида деятельности основывается на концепциях всеобщего управления качеством и промышленными разработками, а также учета затрат по видам деятельности в цепочке ценностей компании.

Пирамида деятельности включает 4 уровня организационной структуры компании и характеризует систему двусторонней связи, необходимую для того, чтобы распространить идеи корпоративной миссии и стратегии на разных уровнях организационной иерархии. Цели и показатели согласованы со стратегией компании и ее видами деятельности. Цели компании распространяются от высших уровней иерархии к нижним, адаптируясь при этом к особенностям каждого уровня, а показатели оценки деятельности передаются снизу вверх, создавая целостную картину.

Согласно модели под названием EP2M – оценка эффективности деятельности и роста – предложенной К. Адамсом и П. Робертсом, наибольшее значение имеет оценка эффективности деятельности компании в четырех направлениях [7]:

- во внешней среде – обслуживание потребителей и удовлетворение спроса;
- во внутренней среде – повышение эффективности и производительности;
- сверху вниз в организационной иерархии – распространение и адаптация общей стратегии компании на все нижние уровни организационной структуры, стимулирование перемен;
- снизу вверх в организационной иерархии – усиление влияния акционеров и расширение свободы действий работников.

В соответствии с концепцией система оценки деятельности компании должна быть направлена не только на реализацию стратегии, но и на выработку корпоративной культуры, признающей постоянное движение вперед обычным стилем жизни.

Дальнейшим развитием концепции сбалансированной системы показателей Р. Каплана и Д. Нортона является предложенная Х. Рамперсадом универсальная система показателей [8]. Она определяется как систематический процесс непрерывного, последовательного и регулярного совершенствования, развития и обучения, который направлен на устойчивый рост результатов деятельности сотрудников и организации. Совершенствование, развитие и обучение – три базовые составляющие данной целостной теории менеджмента. Они тесно связаны друг с другом, между ними должен поддерживаться баланс:

$$\begin{aligned} & \text{универсальная система показателей} = \\ & = \text{процесс непрерывного [совершенствования +} \\ & \quad + \text{развития + обучения]}. \end{aligned}$$

Система состоит из 5 элементов:

- личная система сбалансированных показателей (Personal Balanced Scorecard – PBSC);

- организационная система сбалансированных показателей (Organizational Balanced Scorecard – OBSC);
- всеобщий менеджмент на основе качества (Total Quality Management – TQM);
- управление результативностью (Performance Management) и управление компетенциями (Competence Management);
- цикл обучения Колба (Kolb's Learning Cycle).

В ходе исследования авторами было установлено, что развитие инструментов контроллинга применительно к предприятиям РКП требует учета инновационного характера деятельности и, как следствие, интеграции инструментов инновационного и стратегического менеджмента. Необходимость решения задач управления инновационным развитием предприятий РКП на стратегическом уровне позволяет авторам обосновать использование концепции сбалансированной системы показателей для формирования системы контроллинговых показателей.

Определение контроллинговых показателей как на оперативном, так и на стратегическом уровнях управления не вызывает каких-либо затруднений и является менее трудоемкой задачей. Ключевой и более сложной задачей является задача формирования системы сбалансированных контроллинговых показателей, обеспечивающей согласование стратегического и оперативного уровней управления, решение которой предлагается осуществить в несколько этапов [9]:

1. Определение системы контроллинговых показателей на стратегическом уровне.
2. Определение системы контроллинговых показателей на оперативном уровне.
3. Формулирование и экспертная оценка гипотез о взаимозависимости контроллинговых показателей стратегического и оперативного уровней.
4. Построение модели причинно-следственных связей между контроллинговыми показателями стратегического и оперативного уровней.
5. Определение системы сбалансированных показателей по критериям: показатели должны быть количественно измеримы; количественная оценка показателей должна осуществляться на основе использования существующей системы финансового, производственного и других видов учета.
6. Построение уравнений регрессии, формализующих связи между каждым контроллинговым показателем стратегического уровня и показателями, являющимися элементами системы сбалансированных показателей (первая группа уравнений).
7. Построение уравнений регрессии, формализующих связи между каждым показателем системы сбалансиро-

ванных показателей и контроллинговыми показателями оперативного уровня (вторая группа уравнений).

8. Проверка гипотезы на основании статистических критериев.

9. Определение границ допустимых отклонений системы сбалансированных показателей на основе итерационных расчетов по первой группе уравнений.

10. Определение границ допустимых отклонений контроллинговых показателей оперативного уровня, устанавливаемых в границах допустимых отклонений системы сбалансированных показателей с использованием уравнений второй группы.

Реализация предложенного алгоритма позволит обеспечить согласование стратегического и оперативного уровня управления.

Библиографические ссылки

1. О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. : распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-р [в ред. от 08.08.2009 г. № 1121-р]. [Электронный ресурс]. URL: http://www.economy.gov.ru/wps/wcm/connect/economylib4/mer/resources/6971748040cff24ab6af739669f5cb1/rasp_2008_N1662_red_08.08.2009.rtf.
2. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А. М. Карминский [и др.]. М. : Финансы и статистика, 1998. С. 256.
3. Вебер Ю., Шэффер У. На пути к активному управлению с помощью показателей // Проблемы теории и практики управления. 2000. № 5. С. 107–111.
4. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию : пер. с англ. 2-е изд., испр. и доп. М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 2006. С. 320.
5. Внедрение сбалансированной системы показателей : пер. с нем. 3-е изд. М. : Альпина Бизнес Букс, 2008. С. 478.
6. Редченко К. Новые аспекты управленческого контроля // Менеджмент сегодня (стратегический менеджмент). 2003. № 4. С. 36–44.
7. Ольве Н.-Г., Рой Ж., Веттер М. Сбалансированная система показателей. Практическое руководство по использованию : пер. с англ. М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. С. 304.
8. Рамперсад Х. Универсальная система показателей: как достигать результатов, сохраняя целостность : пер. с англ. 3-е изд. М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. С. 352.
9. Ерыгина Л. В. Контроллинг инновационной деятельности предприятий ракетно-космической промышленности: методология и инструментарий : моногр. / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008. С. 167.

Yu. V. Erygin, L. V. Erygina, S. A. Maksimov

BALANCED SCORECARD AS CONTROLLING TOOL OF INNOVATIVE DEVELOPMENT AT THE SPACE-ROCKET INDUSTRY ENTERPRISES

Analysis of existing scorecard of strategic controlling is presented in this article. An algorithm of formation of balanced scorecard of controlling system, providing for coordination of strategic and operative levels of management is offered.

Keywords: controlling, innovations, space-rocket industry, balanced scorecard.

© Ерыгин Ю. В., Ерыгина Л. В., Максимов С. А., 2011

И. И. Жарков

ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

На основе модели «пяти сил конкуренции» М. Портера предложена структура показателей анализа конкурентной среды рынка промышленных предприятий и определены методы их оценки. С использованием предложенных показателей проведен анализ конкурентной среды пяти основных сегментов рынка предприятий промышленного сектора Сибирского федерального округа, для которых построены профили влияния факторов конкурентной среды, что позволило выявить те из них, которые оказывают наибольшее влияние на деятельность промышленных предприятий в каждом сегменте. Сформулированы результаты, полученные в ходе исследования.

Ключевые слова: инструменты, стратегическое планирование, промышленное предприятие.

Проведенный анализ рынка промышленных предприятий Сибирского федерального округа (СФО) показывает существенные различия между его отдельными сегментами, что приводит к необходимости проведения анализа конкуренции в каждом из них. Анализ факторов, влияющих на изменение конкурентоспособности промышленных предприятий в соответствующем сегменте, дает возможность сосредоточить усилия на получении и обеспечении конкурентного преимущества на каждом выбранном сегменте рынка. В связи со сложностью сегментации рынка продукции промышленных предприятий по потребительским критериям необходимо построение профиля конкурентной среды каждого сегмента. Построение указанного профиля подразумевает выявление определенных показателей, характеризующих воздействующие факторы внешней среды, в качестве которых приняты факторы пяти сил конкуренции. Особенность использования модели «пяти сил конкуренции» заключается в том, что в качестве объекта анализа принята не отрасль, а отдельные сегменты, поскольку каждый сегмент рынка промышленных предприятий имеет уникальную структуру, т. е. набор экономических и технологических характеристик, которые обеспечивают рост конкурентной силы и характеризуют норму возврата инвестиций.

Для выявления наиболее значимых показателей давления конкурентных сил была создана группа экспертов. В состав экспертной группы вошли руководители десяти ведущих промышленных предприятий СФО, региональные представители трех поставщиков материалов, представители регионального филиала поставщиков оборудования Красноярска и Томска. Расчет количества экспертов был определен по формуле:

$$N_{\text{э. мин}} = 0,5 \cdot \left(\frac{3}{j} + 5 \right),$$

где N – минимальное возможное количество экспертов; j – возможная ошибка экспертизы ($0 < j < 1$).

Оценка влияния каждого фактора производилась с использованием методов ранжирования по шкале Лайкерта и последующей обработкой по шкале Харингтона методами дисперсионного анализа. Расчет меры согласованности экспертных данных проводился с использованием коэффициентов конкордации по формуле

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^k A_{ij} - k \left(\frac{H+1}{2} \right) \right]^2}{K^2 (H^3 - H)},$$

где A – оценка в баллах, данная i -му объекту j -м экспертом; H – количество исследуемых объектов экспертизы; K – количество экспертов.

При этом согласованность считается достаточной при $W > 0,5$.

Рассчитанную величину конкордации затем взвешивали по критерию Пирсона с уровнем значимости не более 0,05.

Расчетную величину определяли по формуле

$$X^2_{\text{расч}} = WK(H-1).$$

При этом X расчетная должна быть больше чем X табличная.

Задача сформированной группы экспертов состояла в определении показателей факторов пяти конкурентных сил, оказывающих значимое воздействие на сегменты регионального рынка промышленных предприятий. Таким образом, для каждого фактора, формирующего конкурентный профиль среды, были выявлены показатели, по которым необходимо в дальнейшем производить сравнительную оценку влияния этого показателя на конкурентный профиль в конкретном сегменте рынка. Факторы конкурентной среды и выявленные в результате исследования показатели, определяющие действие каждого фактора, представлены на рисунке.

На основании проведенного анализа сформированы направления деятельности, обеспечивающие доступ к любому сегменту рынка промышленных предприятий, которые могут служить важнейшими в случае их ценности для потребителей и уникальности, обеспечивая формирование конкурентного преимущества в каждом сегменте (см. таблицу).

Важнейшим показателем конкурентоспособности промышленного предприятия зарубежные и отечественные специалисты считают ценность его продукции для потребителя. Ценность создается четырьмя различными способами, применяемыми совместно или по отдельности: улучшением качества, сопутствующими услугами, сокращением стоимости товара для потребителя или сокращением продолжительности цикла.

Соответственно, с точки зрения потребителя ценность означает возможность приобретения товара, обладающего наиболее важными характеристиками, т. е. произведенного в точном соответствии с техническими условиями, в установленный срок с оптимальной надежностью и по самой низкой возможной цене. Таким образом, для

повышения ценности своей продукции предприятию необходимо либо улучшить наиболее весомые для потребителя характеристики, либо снизить цену, либо сделать то и другое одновременно.

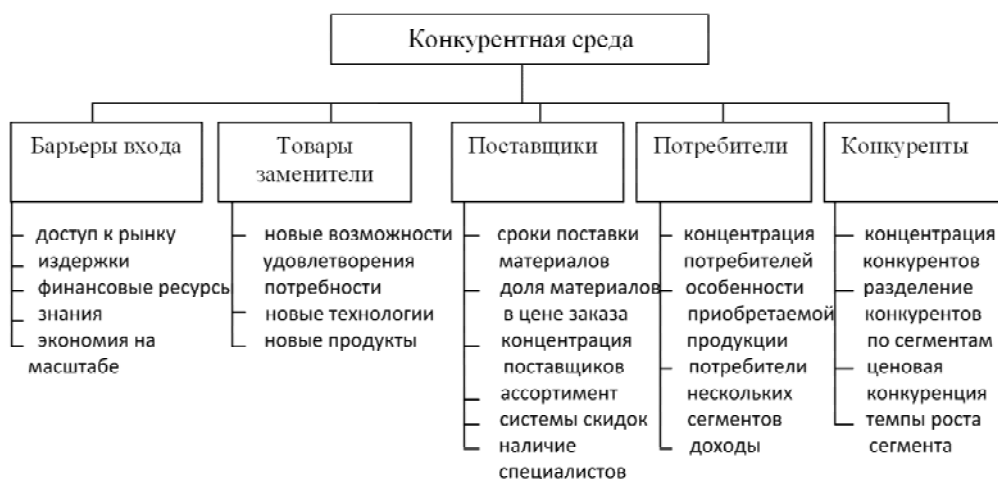
Для достижения конкурентоспособности предприятию необходимо, чтобы важнейшие меры деятельности обеспечивали потребителю формирование максимальной потребительской ценности. На изменение и формирование потребительской ценности влияет появление новых технологий удовлетворения потребностей, новые продукты, новые потребности. Предлагается анализ предпочтений потребителей проводить в два этапа:

- на первом этапе определить критерии «победители заказа» и «квалификаторы заказа» в каждой группе;
- на втором этапе проанализировать критерии с формулировкой конкретных требований к заказу.

Термины «победители заказа» и «квалификаторы заказа» введены для описания конкурентных приоритетов.

Победитель заказа – это критерий, выделяющий продукцию или услуги одной фирмы среди продукции или услуг других компаний. Квалификатор заказа – критерий, с помощью которого определяется значимость каждого вида продукции промышленного предприятия как возможного кандидата для продаж.

По результатам исследования ученых для большинства крупных промышленных предприятий квалификаторами заказа являются такие критерии, как соответствие качества продукции техническим требованиям, своевременное выполнение заказа и надежность продукции. Низкая цена продукции определяет победителя заказа. Изучение значимости факторов, которым необходимо соответствовать для поддержания уровня конкурентоспособности, привело к формированию трех основных конкурентных приоритетов: качества, надежности продукции, сроков выполнения заказов. Следовательно, если предприятие не в состоянии их выполнять, оно не может оставаться в бизнесе.



Показатели конкурентной среды рынка промышленных предприятий

Мероприятия деятельности, обеспечивающие защиту от действия конкурентных сил

Фактор внешней среды	Мероприятия деятельности
Барьеры входа	Возможность обеспечить финансирование в требуемом для работы в сегменте объеме в минимальные сроки и по приемлемой цене. Способности к организации и управлению промышленными предприятиями – знания технологий, необходимых для работы в сегменте, опыт организации производственных процессов. Возможности, связанные с накоплением и формированием знаний и ноу-хау, а также распространение эффекта кривой опыта внутри промышленного предприятия. Возможности, связанные с использованием эффекта масштаба производства, что обеспечивается организацией производственных процессов и сегментом рынка. Возможности, связанные с формированием устойчивых отношений с потребителями определенного сегмента промышленной продукции
Товары-заменители	Способности к планированию и прогнозированию. Возможности доступа к информации о технических и технологических изменениях рынка
Поставщики	Возможности снижения доли затрат материалов в промышленной продукции. Возможность формирования устойчивых связей с поставщиками. Возможности приобретения расходных материалов без посредников. Способности добиваться выгодных условий поставки материалов
Потребители	Возможности, связанные с максимальным удовлетворением потребителей. Возможность работы в нескольких сегментах рынка. Возможность выбора наиболее доходных групп потребителей. Способности обеспечивать высокий уровень качества и эксклюзивности продукции
Конкуренты	Возможности, связанные с наличием эксклюзивных технологий, ноу-хау. Способности удерживать постоянные издержки на низком уровне. Способности, связанные с гибкостью и оптимизацией производственных процессов, снижающие давление отсутствия загрузки при постоянном штате сотрудников. Технологические способности обеспечивать продукцией разные сегменты рынка

Как мы уже отмечали, разнообразная промышленная продукция изготавливается непосредственно под заказ конкретного заказчика и обладает в силу этого индивидуальными особенностями. Тем не менее, структура ценности у потребителей промышленной продукции, принадлежащих к одному сегменту рынка, является идентифицируемой и стабильной.

Очевидно, что основная ценность того или иного вида промышленной продукции выражается исходной потребностью заказчика в самой продукции, а также в ряде вторичных качеств или полезностей, которые могут быть необходимы или добавленными. Указанные дополнительные качества или полезности, по нашему мнению, способствуют дифференциации марок и могут оказывать определяющее влияние на предпочтения покупателей.

Для выявления показателей, характеризующих промышленные предпочтения потребителей, был проведен опрос потребителей промышленной продукции в каждом сегменте рынка промышленного производства. Определение показателей проводилось на основе экспертных оценок. В качестве экспертов выступали основные потребители промышленной продукции из каждого сегмента рынка (не менее трех представителей из каждого сегмента) и представители лидирующих промышленных предприятий в каждом сегменте рынка. В результате исследования были получены показатели, сгруппированные в следующие группы: технические; финансовые; показатели, связанные с продвижением продукции на рынке; показатели, влияющие на способность формирования устойчивых отношений.

Первая группа включает *технические показатели* промышленной продукции, обусловленные используемым типом оборудования и технологией:

- качество промышленной продукции;
- обработка произведенных заказов;
- стабильность качества при повторяемом производстве;
- скорость изготовления заказа;
- точность сроков выполнения заказа;
- доставка готовой продукции.

Финансовые показатели промышленной продукции включают в себя:

- стоимость продукции;
- условия оплаты заказов;
- размер скидок;

- возможность кредитных схем.

Показатели, связанные с формированием отношений, включают:

- компетентность менеджеров на приеме заказов;
- приоритетный доступ к новым и уникальным технологиям изготовления промышленной продукции;
- скорость ответа на запрос заказчика;
- техническую и информационную поддержку;
- совместные проекты.

К показателям, связанным с продвижением предприятия на рынке, относятся:

- репутация промышленного предприятия на рынке;
- наличие сети представительств промышленного предприятия;
- доступность офисов продаж.

В результате опроса потребителей каждого сегмента были выявлены основные характеристики, влияющие на принятие заказчиком решения о выборе промышленного предприятия и позволяющие построить профиль требований потребителей на каждом из сегментов рынка.

Достоверность полученных данных оценивалась с помощью методов дисперсионного анализа интервальной шкалы, *t*-распределение при уровне значимости 0,05, $n = 20$, составляет 1,64 при табличном значении 1,729.

В результате установлено, что низкая цена является победителем заказа для всех сегментов, однако квалификаторы заказа в каждом из них выявлены разные. Так, для сегмента станочной продукции квалификаторами являются сроки выполнения заказа, соответствие качества требованиям заказчика и профессионализм менеджеров, принимающих заказ. Следовательно, промышленному предприятию необходимо, с одной стороны, совершенствовать деятельность в области снижения издержек за счет, например, совершенствования техпроцесса изготовления промышленной продукции, а с другой стороны, определять меры деятельности, соответствующие потребительским предпочтениям в каждом конкретном сегменте рынка промышленных товаров.

Проведенный анализ потребителей выявил важнейшие показатели ценности промышленной продукции в каждом сегменте. На основании сегментации получены данные о наиболее значимых сегментах рынка промышленного производства и определены требования к производству промышленной продукции.

I. I. Zharkov

TOOLS FOR ESTIMATION OF STRATEGIC PLANNING SYSTEM AT INDUSTRIAL ENTERPRISE

In article on the basis of five forces of a competition model of M. Porter the author defines structure of indicators of analysis of competitive environment of market of industrial enterprises and methods of their estimation.

With the use of the offered indicators the author analyses competitive environment of five basic segments of market of enterprises of industrial sector of the Siberian Federal district for which profiles of influence of factors of competitive environment are constructed, which makes possible to reveal those of them which make the greatest impact on actions of activity of the industrial enterprises in each segment. The results received during research are formulated.

Keywords: tools, strategic planning, industrial enterprise.

© Жарков И. И., 2011

РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КАК НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Приведена комплексная оценка транспортной инфраструктуры региона. Сформирован набор индикаторов транспортной обеспеченности, определены их целевые значения. Рассмотрены варианты социально-экономического развития Красноярского края и соответствующие им инвестиционные проекты с точки зрения их влияния на показатели транспортной обеспеченности. Сформулированы рекомендации по развитию транспортного комплекса Красноярского края.

Ключевые слова: инфраструктура, инвестиционные проекты, социально-экономическое развитие, транспортная обеспеченность.

Транспорт играет важную роль в социально-экономическом развитии страны. Транспортная система способствует развитию внешнеторговых отношений, участвует в удовлетворении производственных нужд, обеспечивает условия экономического роста, повышения конкурентоспособности национальной экономики и качества жизни населения. Следовательно, добиться конечной цели – повышение стандартов качества жизни – можно благодаря развитию транспортных коммуникаций.

Транспортная инфраструктура Красноярского края представлена всеми видами транспорта. По перевозке пассажиров лидирует автомобильный транспорт, по перевозке грузов – железнодорожный, именно они и определяют возможности развития региона. Уровень развития транспортной инфраструктуры края неоднороден по территории. Наиболее освоенными являются центральные и южные районы, где проходит Транссибирская железнодорожная магистраль, вдоль которой сконцентрированы и основные автодороги. Для северных территорий характерна чрезвычайно низкая плотность дорожной сети, характеризующаяся отсутствием связей с центральными территориями края.

Протяженность эксплуатационных путей железнодорожного транспорта и, следовательно, их густота как по России в целом, так и по Красноярскому краю за последние десятилетия не изменилась. Однако меняется структура: растет доля электрифицированных, двухколейных и многоколейных путей. Однако наличие неэлектрифицированных и однопутных участков дорог уменьшает пропускную способность и является ограничением развития. Так, например, на южном ходе Транссиба из 64-х перегонов 41 – однопутный, в результате чего при потребности в 40 поездов в сутки узловая станция может пропустить только 25 [1].

Протяженность (густота) автомобильных дорог общего пользования меняется слабо. В течение восьми лет были введены в эксплуатацию 329 км дорог с твердым покрытием, это всего в два раза больше, чем вводится в некоторых регионах за год.

На территории Красноярского края реализуются крупные инвестиционные проекты, которые увеличат нагрузку на транспортные сети, поэтому региону необходима оценка транспортной инфраструктуры с точки зрения соответствия потребностям населения и темпам роста экономики.

Для оценки транспортной инфраструктуры в настоящем исследовании использованы следующие показатели:

- густота сети путей сообщения (километров путей на 10 000 км² территории) – основной показатель, используемый в статистических сборниках, а также как индикатор реализации транспортных стратегий;

- протяженность путей сообщения, приходящаяся на 10 000 человек (километров путей на 10 000 чел.) – характеризует возможность населения пользоваться транспортной сетью;

- коэффициент Энгеля – комплексный показатель, учитывающий как площадь территории, так и численность населения.

Основным недостатком перечисленных выше показателей, по мнению авторов, является следующий: они не учитывают качественные характеристики, определяющие уровень развития транспортной инфраструктуры на современном этапе – скорость, безопасность, экологичность.

Для того чтобы включить в систему мониторинга транспортной системы эти качественные характеристики, были выбраны две методики. Первая – разрабатываемая научной и консалтинговой компанией «Геограком» – расчет интегральной транспортной доступности (ИТД), вторая – разрабатываемая при поддержке министерства транспорта РФ – минимальный транспортный стандарт.

Интегральная транспортная доступность характеризует надежность функционирования транспортной сети с позиций интересов потребителей и измеряется в среднеувзвешенных затратах времени, необходимых, чтобы добраться из данной точки до любой другой по транспортной сети с данными техническими параметрами и начертанием с заданной скоростью. ИТД измеряется отдельно для грузо- и пассажироперевозок. Нормативной считается сеть дорог, для которых интегральная транспортная доступность в низовом административном районе не превышает 1,75 ч при пассажироперевозках и 2,4 ч – при грузоперевозках [2].

Минимальный транспортный стандарт (МТС) – совокупность показателей конечного потребления транспортных услуг, от которых существенно зависят условия жизнедеятельности и хозяйствования в регионе.

Перечень самих показателей МТС (табл. 1) и их значения определяются в зависимости от стратегических параметров развития региона [3].

Транспортная дискриминация населения отражает долю населения, проживающего в транспортных условиях хуже нормативных, и рассчитывается на основе интегральной транспортной доступности [4].

Грузоёмкость показывает «отягощённость» экономики региона работой транспорта. Меньшее значение грузоёмкости говорит об эффективном использовании транспорта для нужд региона (создание добавленной стоимости). В большинстве стран с рыночной экономикой этот показатель монотонно снижается на протяжении последних десятилетий, что отражает относительное удешевление транспорта. В соответствии с современными представлениями развитие транспортной сети должно вести к дополнительным перевозкам грузов только в абсолютных значениях, в то время как прирост перевозок относительно прироста ВВП должен быть ниже [3].

По выбранным индикаторам была проанализирована транспортная обеспеченность Красноярского края.

По густоте автомобильных и железных дорог общего пользования Красноярский край занимает одно из последних мест как в России, так и в Сибирском федеральном округе. Низкое значение этих показателей объясняется тем, что большую часть площади Красноярского края составляют Таймырский и Эвенкийский округа, где транспорт развит очень слабо. Однако если скорректировать этот показатель, т. е. рассчитать его без учета этих округов, полученное значение (28,7 – для железных дорог, 19 – для автомобильных) будет гораздо ниже среднероссийского уровня и большинства регионов Сибирского федерального округа.

Важная часть анализа транспортной обеспеченности Красноярского края – сравнение с регионами, схожими по уровню социально-экономического развития. При сравнении выбраны следующие показатели: валовой региональный продукт на душу населения (табл. 2) и объём добычи полезных ископаемых и обрабатывающих производств (табл. 3).

Таблица 1

Показатели минимального транспортного стандарта

Показатель	Единица измерения	Рекомендуемое значение	Лучшие мировые показатели
Доля транспорта в загрязнении окружающей среды	%	< 10	8
Вклад автотранспорта в суммарное транспортное загрязнение	%	60–80	65
Подвижность населения с социально-культурными целями	% от норматива	90	100
Транспортная дискриминация населения	%	< 2	0
Уровень ДТП по вине автодорог	ед./100 тыс. поездок	< 0,01	0,05
Грузоёмкость экономики	т · км/1 долл. ВРП	< 1	0,2
Соотношение затрат на инфраструктуру и подвижной состав	%	70/30	70/30

Таблица 2

Основные показатели транспортной обеспеченности по группе регионов с валовым региональным продуктом на душу населения от 150 до 180 тыс. руб.

Субъект РФ	Густота железных дорог, км путей на 10 000 км ² территории	Протяженность железнодорожных путей, км на 10 000 чел.	Коэффициент Энгеля для железных дорог	Густота автомобильных дорог, км путей на 1 000 км ² территории	Протяженность автомобильных дорог, км на 10 000 чел.	Коэффициент Энгеля для автомобильных дорог
Новосибирская область	85	5,72	6,96	60	40,63	49,45
Республика Карелия	123	32,40	20,45	37	97,38	61,47
Иркутская область	32	9,89	5,65	16	49,54	28,29
Белгородская область	258	4,59	10,89	248	44,16	104,75
Красноярский край	9 (28,7)	7,15	2,51	5,6 (19)	45,99	16,16
Хабаровский край	27	14,97	6,31	6,8	38,10	16,06
Челябинская область	203	5,12	10,23	103	26,06	52,06
Пермский край	93	5,52	7,17	71	41,74	54,19
Оренбургская область	121	7,06	9,22	107	62,41	81,45
Липецкая область	315	6,51	14,30	248	51,10	112,26

Интегральная транспортная доступность Красноярского края в 2003 г. оценивалась как 14,38 ч для грузоперевозок и 17 ч – для пассажироперевозок (напомним, что норматив – 2,4 и 1,75 ч соответственно), таким образом, край занимал одно из последних мест в России [4].

Показатели минимального транспортного стандарта:

1. Доля транспорта в загрязнении окружающей среды и вклад автотранспорта в суммарное транспортное загрязнение. Красноярская магистральная железная дорога отнесена к высокой степени загрязнения. Основными видами воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду являются выбросы твердых, жидких и газообразных веществ; отчуждение территорий; потребление воды, топливных ресурсов и электроэнергии предприятиями и подвижным составом; шум и вибрация. Одним из потенциально опасных для окружающей среды видом воздействия является перевозка взрывчатых, химических и прочих опасных грузов. В 2007 г. выбросы железнодорожного транспорта по краю составили 4,5 тыс. т, что на 2,2 % больше выбросов предыдущего года.

Выбросы загрязняющих веществ от судов водного транспорта в 2007 г. остались на уровне предыдущего года и составили 696,1 т/год.

Развитие воздушного транспорта также сопровождается негативным воздействием на окружающую среду: загрязнением атмосферы отработавшими газами вблизи аэропортов и на высотах крейсерского полета; шум, создаваемый самолетами при взлете и посадке.

Наибольший вред окружающей среде наносит автомобильный транспорт – на его долю приходится около 90 % общего объема вредных веществ, поступающих в атмосферу от всех видов транспорта. Объем выбросов автотранспорта в 2007 г. составил 345,2 тыс. т (в 2006 г. – 295,3 тыс. т). Федеральные дороги Красноярского края в южном направлении относятся к категории с высокой

степенью загрязнения, в восточном и западном направлениях – к категории с умеренным загрязнением. К категории с низкой степенью воздействия относятся прочие федеральные или местные дороги на экономически слабо освоенной территории.

2. Уровень ДТП по вине автодорог. В 2008 г. в Красноярском крае произошло 772 дорожно-транспортных происшествия из-за неудовлетворительного состояния дорог, что составляет 15,2 % от общего числа ДТП. В этих ДТП погибло 82 человека и было ранено 947 человек. По сравнению с 2007 г. число пострадавших сократилось на 18 и 16,1 % соответственно.

3. Грузоёмкость экономики. В период с 1999 по 2007 гг. грузоёмкость снижается. Однако значение 1,45 т · км/долл. ВРП, достигнутое в 2007 г., не соответствует рекомендуемому (< 1).

4. Соотношение затрат на инфраструктуру и подвижной состав. По комплексу инвестиционных проектов, принятых к реализации в Красноярском крае, это соотношение выглядит следующим образом: 99,5 / 0,5 %. Но, стоит отметить, что это соотношение дано в стоимостной оценке, а инфраструктурные проекты (строительство железных и автомобильных дорог) гораздо более затратные. Кроме того, как отмечалось выше, Красноярский край имеет крайне низкие показатели густоты транспортной сети, что объясняет необходимость крупных вложений именно в инфраструктуру.

На основе проведенного анализа была дана оценка транспортной обеспеченности Красноярского края. Транспортная инфраструктура края не соответствует современным мировым стандартам, является одной из наименее развитой в России, не отвечает уровню социально-экономического развития края (табл. 4).

Для дальнейшего анализа транспортной инфраструктуры Красноярского края использован прогноз экономических показателей и показателей транспорта по суще-

Таблица 3

**Основные показатели транспортной обеспеченности по группе регионов
с объемом производства от 375 до 675 млн руб.**

Субъект РФ	Густота железных дорог, км путей на 10 000 км ² территории	Протяженность железнодорожных путей, км на 10 000 чел.	Коэффициент Энгеля для железных дорог	Густота автомобильных дорог, км путей на 1 000 км ² территории	Протяженность автомобильных дорог, км на 10 000 чел.	Коэффициент Энгеля для автомобильных дорог
Вологодская область	53	6,31	5,77	81	96,47	88,20
Омская область	53	3,73	4,48	80	56,18	67,46
Волгоградская область	143	6,22	9,40	108	47,11	71,17
Красноярский край	9 (28,7)	7,15	2,51	5,6 (19)	45,99	16,16
Кемеровская область	176	5,97	10,26	87	29,61	50,91
Нижегородская область	158	3,63	7,57	198	45,34	94,51
Самарская область	255	4,31	10,49	260	43,91	106,80
Пермский край	93	5,52	7,17	71	41,74	54,19

ствующим темпам роста (табл. 5). Прогноз построен на основе нелинейных регрессионных моделей, отражающих зависимость соответствующего показателя развития экономики и транспорта от времени:

$$\begin{aligned} N &= 3\,378,5 - 1,1 \cdot T^2 + 0,001 \cdot T^4 - 337,5/T - 80,3 \cdot \ln T, \\ \text{ВРП} &= 75869,5 + 342,76 \cdot T^3 + 85\,841,19 \cdot \ln T, \\ \text{Пр} &= 450\,549,3 + 9\,279,3 \cdot T, \\ \Pi_A &= 12\,656,17 + 0,35 \cdot T^3 + 128,66 \cdot \ln T, \\ \Pi_{\text{ЖД}} &= 2\,067 + 1,32/T, \end{aligned}$$

где N – численность населения; ВРП – валовой региональный продукт; Пр – объем промышленного производства; Π_A – протяженность автомобильных дорог; $\Pi_{\text{ЖД}}$ – протяженность железных дорог.

Прогноз может быть использован, так как доля вариации, объясненная полученным уравнением (коэффициент детерминации), не ниже 54 %. Уровень значимости уравнений принадлежит интервалу 0,3–6,0 %.

Так как большая часть территории Красноярского края приходится на северные малозаселенные районы, такие показатели, как густота железных и автомобильных дорог в расчете на территорию, при небольшом измене-

нии протяженности дорог не будут отражать эти изменения. Поэтому в качестве целевого индикатора в данном исследовании рассматривается только протяженность путей в расчете на население.

При определении целевых показателей авторы ориентировались на лучшие мировые и российские показатели, а также на уже существующие нормативы. Для обеспечения опережающего развития транспортной инфраструктуры для показателей густоты дорог, рассчитанных как отношение протяженности к численности населения, целевой уровень – это среднее значение по лучшей группе в рейтинге (рейтинг составлен по «традиционным» показателям транспортной обеспеченности). Для интегральной транспортной доступности был выбран среднероссийский уровень, так как этот показатель зависит от многих региональных факторов, и для такой обширной территории, как Красноярский край, при существующей скорости движения транспорта достижение нормативного значения невозможно. Для показателей минимального транспортного стандарта выбрана верхняя граница норматива, так как экологизация и снижение грузоемкости в России происходят медленно (табл. 6).

Таблица 4

Оценка транспортной обеспеченности Красноярского края

Показатель	Существующее значение	Оценка
Традиционные показатели транспортной обеспеченности		
Густота ж.-д. путей, км путей на 10 000 км ² территории	9	Ниже среднероссийского уровня
Густота автодорог, км дорог на 1 000 км ² территории	5,6	Ниже среднероссийского уровня
Протяженность железнодорожных путей на 10 000 чел.	7,15	Ниже среднероссийского уровня
Протяженность автомобильных дорог на 10 000 чел.	45,99	Ниже среднероссийского уровня
Коэффициент Энгеля для железных дорог	2,51	Ниже среднероссийского уровня
Коэффициент Энгеля для автомобильных дорог	16,16	Ниже среднероссийского уровня
Интегральная транспортная доступность		
ИТД _{гр} , ч	14,38	Не соответствует норме
ИТД _{нас} , ч	17	Не соответствует норме
Минимальный транспортный стандарт		
Доля транспорта в загрязнении окружающей среды, %	15	Не соответствует норме
Вклад автотранспорта в суммарное транспортное загрязнение, %	90	Не соответствует норме
Транспортная дискриминация населения, %	60-70	Не соответствует норме
Уровень ДТП по вине автодорог, ед./100 000 поездок	0,008	Соответствует норме
Грузоёмкость экономики, т · км/долл. ВРП	1,45	Не соответствует норме
Соотношение затрат на инфраструктуру и подвижной состав, %	99,5/0,5	Не соответствует норме

Таблица 5

Прогноз основных экономических показателей и показателей развития транспортной инфраструктуры до 2020 г.

Год	ВРП на душу населения, тыс. руб.	Промышленное производство, млн руб.	Густота железных дорог, км путей на 10 000 км ² территории	Густота автомобильных дорог, км путей на 1 000 км ² территории	Протяженность железнодорожных путей, км на 10 000 чел.	Протяженность автомобильных дорог, км на 10 000 чел.
2010	332,71	571180,10	8,83	5,80	7,21	47,36
2011	377,86	580459,40	8,84	5,88	7,24	48,13
2012	426,41	589738,70	8,84	5,96	7,26	48,97
2013	480,26	599018,00	8,84	6,06	7,28	49,92
2014	538,93	608297,30	8,84	6,17	7,30	50,97
2015	603,58	617576,50	8,84	6,29	7,32	52,14
2016	674,71	626855,80	8,84	6,43	7,34	53,41
2017	752,80	636135,10	8,84	6,59	7,36	54,85
2018	837,48	645414,40	8,84	6,76	7,38	56,41
2019	930,83	654693,70	8,84	6,95	7,39	58,12
2020	1032,71	663973,00	8,84	7,16	7,41	59,99

Существующие темпы роста не обеспечивают достижения целевых показателей. Для ускорения темпов роста показателей транспортной обеспеченности в Красноярском крае предложены к реализации и реализуются инфраструктурные инвестиционные проекты.

При реализации инновационного сценария к 2017 г. протяженность железных дорог увеличится на 1 213,5 км, автомобильных – на 2 279 км. Если же будет реализован умеренный сценарий развития, то протяженность железных дорог увеличится всего на 281 км. Рассчитаем показатели протяженности дорог, приходящейся на 10 000 человек, при новой общей протяженности дорог (табл. 7).

Таким образом, оба сценария не позволяют достичь целевого уровня по автомобильному транспорту. Инновационный сценарий способствует достижению целевого уровня по железнодорожному транспорту, но уже сейчас можно сказать, что вероятность того, что Северо-Сибирская магистраль будет построена к 2017 г., очень мала.

Хотелось бы отметить, что ни один из сценариев не рассматривает вопросы экологизации транспорта – нет прогноза снижения выбросов в атмосферу от стационарных источников, т. е. достижение целевого значения по уровню загрязнения от транспорта пока недостижимо.

По результатам исследования авторами установлено, что транспортная инфраструктура Красноярского края не отвечает современному мировому уровню и заметно

отстает от регионов РФ, схожих по уровню социально-экономического развития. Построенный прогноз подтверждает, что при существующих темпах роста показателей транспортной обеспеченности целевые значения достигнуты не будут. Таким образом, показана необходимость реализации крупных инфраструктурных проектов. Установлено, что принятый набор проектов также не обеспечит достижение целевых значений показателей транспортной обеспеченности.

Кроме того, было установлено, что традиционные методы оценки устарели, и необходим переход к новой системе показателей, которая будет учитывать качественные характеристики развития транспортной инфраструктуры.

В соответствии со сделанными выводами предлагаются следующие рекомендации:

- для Красноярского края необходима реализация дополнительных инвестиционных проектов по строительству и особенно модернизации автомобильных дорог;
- в отрасли железнодорожных перевозок необходимо развивать скоростное движение;
- необходимо включить в систему мониторинга транспортной системы показатели экологического воздействия транспорта, а также дополнительные индикаторы – аварийность на транспорте (а не только ДТП) и степень износа основных фондов.

Таблица 6

Определение целевых показателей транспортной обеспеченности Красноярского края

Протяженность путей, км на 10 000 чел. населения				
Показатель	Существующее значение	Среднероссийское значение	Среднее значение по лучшей группе рейтинга	Рекомендуемое значение для Красноярского края
Протяженность железнодорожных путей, км на 10 000 чел.	7,15	7,2	11,5	11,5
Протяженность автомобильных дорог, км на 10 000 чел.	45,9	55,5	90,7	90,7
Интегральная транспортная доступность				
Показатель	Существующее значение	Среднероссийское значение	Норматив	Рекомендуемое значение для Красноярского края
ИТД _{гр} , ч	14,38	6,24	2,4	6,24
ИТД _{час} , ч	17	7,29	1,75	7,29
Показатели минимального транспортного стандарта				
Показатель	Существующее значение	Норматив	Лучшее мировое значение	Рекомендуемое значение для Красноярского края
Доля транспорта в загрязнении окружающей среды, %	15	< 10	8	10
Грузоёмкость, т · км/долл. ВРП	1,45	< 1	0,2	0,9

Таблица 7

Влияние инвестиционных проектов на основные показатели транспортной обеспеченности

Показатель	Значение в 2017 г. при реализации инновационного сценария	Значение в 2017 г. при реализации умеренного сценария
Протяженность железнодорожных путей, км на 10 000 чел.	11,7	8,4
Протяженность автомобильных дорог, км на 10 000 чел.	55,4	55,4

Библиографические ссылки

1. Иванова Е. Модернизация идет южным ходом // Эксперт Сибирь. 2010. № 12. С. 5.
2. Минимальный транспортный стандарт // Транспортная империя. 2009. № 6.
3. Бугроменко В. Н. Увидеть будущее // Вестник географа : приложение к газете «Транспорт России». 2008. № 26.
4. Бугроменко В. Н. Транспортная дискриминация населения: пути решения проблемы // Бюллетень транспортной информации. 2002. № 11.

E. V. Zander, E. A. Koryakova

DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE AS NECESSARY CONDITION FOR SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF A REGION

In this article we give complex assessment of transport infrastructure of our region. A set of transport service indicators is formed, and their target values are determined. Different variants of socioeconomic development of Krasnoyarsk region and appropriate investment projects are considered in the view of their influence on transport service factors, along with recommendations for transport development of Krasnoyarsk region.

Keywords: infrastructure, investment projects, socioeconomic development, transport service.

© Зандер Е. В., Корякова Е. А., 2011

УДК 65.9631.16:658

И. В. Ковалева

К ВОПРОСУ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ

Рассмотрены исторические аспекты развития теории регионального рынка, мнения современных российских и зарубежных ученых по данной проблеме. Акцентируется внимание на особенности развития агропродовольственного рынка региона.

Ключевые слова: региональный рынок, теория развития, цена, конкурентоспособность, инвестиции.

Основы теорий рынка были заложены Й. Тюненом, В. Лаунхардтом, А. Вебером, В. Кристеллером при обосновании размещения производства (теория сельскохозяйственного штандорта Й. Тюнена, рациональный штандорт промышленного предприятия В. Лаунхардта, теория центральных мест В. Кристеллера). Среди ученых до сих пор нет единого мнения по поводу определения сущности рынка. Так, Э. Фрейхейт считает, что рынок «... является государственным мероприятием... концентрирует куплю и продажу товаров в определенное время и в определенном месте» [1]. Ф. Котлер считает, что рынок есть «... совокупность покупателей товара, покупателей существующих и потенциальных» [2].

В экономической литературе при рассмотрении рыночных теорий много внимания уделяется анализу механизма спроса и предложения на товарном рынке. Демонстрируемая при этом модель рыночного равновесия предполагает, что при увеличении цены спрос на товар падает, а предложение, наоборот, растет. Однако, на наш взгляд, эта широко известная модель имеет принципиальный недостаток: она игнорирует влияние пространства или допускает, что рынок является точкой.

Тюнен Й. в своей работе «Изолированное государство в его отношении к сельскому хозяйству и нацио-

нальной экономии» методом сопоставления затрат на перевозку продукции до места сбыта выявляет благоприятные зоны для размещения видов сельскохозяйственного производства и доказывает, что схема размещения сельскохозяйственного производства – это система концентрических кругов (поясов) разного диаметра вокруг города, разделяющих зоны размещения различных видов сельскохозяйственной деятельности. По его мнению, чем выше продуктивность (урожайность), тем ближе к городу должно размещаться данное производство.

Решающим фактором размещения производства у В. Лаунхарда, как и у Й. Тюнена, являются транспортные издержки. Производственные затраты принимаются равными для всех точек исследуемой территории. Точка оптимального размещения организации находится в зависимости от весовых соотношений перевозимых грузов и расстояний. В. Лаунхард разработал метод весового треугольника, который имеет геометрическое и механическое решение. Геометрический метод решения предполагает, что каждой из сторон весового треугольника строится еще один треугольник, подобный весовому, стороны которого соотносятся как $a : b : c$. Затем вокруг каждого треугольника строится окружность, точка пересече-

ния которой является точкой минимума транспортных затрат. Механический метод предполагает аналогию с методом нахождения точки равновесия сил.

Вебер А. ввел в теоретический анализ новые факторы размещения производства: транспорт, рабочую силу, агломерацию. Ему впервые удалось разработать многофакторную теорию размещения промышленного предприятия с применением математического моделирования. Данные теории рассматриваются в региональной экономике как составляющие сущности рынка.

По мнению А. А. Гранберга, начальный шаг к рассмотрению пространственно автономных региональных рынков принадлежит О. Курно.

Теории рынка получили интенсивное развитие в первой половине XX в. А. Леш, отталкиваясь от идеи Кристаллера, предположил, что фирмы должны размещаться в вершинах кристаллеровской (гексагональной) решетки и каждая фирма должна обслуживать покупателей в пределах «своего» правильного шестиугольника [2]. В труде «Пространственная организация хозяйства» А. Леш анализирует ситуацию размещения компаний в условиях конкуренции, когда выбор местоположения определяется не только стремлением каждой фирмы к максимуму прибыли, но и увеличением числа фирм, заполняющих рыночное пространство. Соответственно, в пространственном ценообразовании отдельные фирмы должны корректировать цены с целью защиты своего рынка от проникновения других. Экономический регион рассматривается как рынок с границами, обусловленными межрегиональной конкуренцией [4].

Леш А. анализирует несколько типов регионов, включая рыночные зоны, определяемые радиусами конкурентоспособного сбыта соответствующих видов продукции, и экономический ландшафт – высший тип региона, объединяющий региональный рынок. Он усиливает теорию межрегиональной торговли (теорию Б. Олина) при предположениях о мобильности товаров и услуг в краткосрочном периоде и факторов производства в долгосрочном периоде. А. Леш дал подробное описание рыночного функционирования системы производителей и потребителей, где каждая экономическая переменная привязана к определенной точке пространства. Состояние рыночного равновесия, согласно теории А. Леша, характеризуется следующими условиями:

- местоположение каждой фирмы обладает максимально возможными преимуществами для производителей и потребителей;
- фирмы размещаются так, что территория полностью используется;
- существует равенство цен и издержек;
- все рыночные зоны имеют минимальный размер (форму шестиугольника);
- границы рыночных арен проходят по изолиниям, что и обеспечивает устойчивость рыночного равновесия.

В дальнейшее развитие теории рынка внес свой вклад Х. Хотеллинг, который обосновал правила оптимального поведения конкурирующих производителей, исследуя модель дуопольного рынка. Большой вклад в развитие теории размещения внесли О. Энглендер, Т. Паландер.

Так, Т. Паландер стремился соединить теории размещения организаций и пространственный анализ рынков.

В новых парадигмах и концепциях региона последний может рассматриваться как регион-рынок, где акцентируется внимание на общих условиях экономической деятельности (предпринимательский климат) и особенностях региональных рынков различных товаров, услуг, кредитно-финансовых ресурсов, ценных бумаг и т. д. Данная парадигма включает проблему соотношения рыночного саморегулирования, государственного регулирования, инвестирования и социального контроля. Исходя из данной парадигмы, региональный рынок продукции агропромышленного комплекса (АПК) – это совокупность технологически, организационно и экономически связанных агропромышленных отраслей региона, целью которых является удовлетворение потребностей населения страны и региона в продуктах питания и предметах потребления из сельскохозяйственного сырья.

По мнению экономистов, признаками развитого продовольственного рынка являются спрос, система экономических отношений в цепочке «производство–потребление», система правовых, административных, экономических, организационных мер. Важнейшими элементами рынка являются спрос, предложение, рыночная цена, конкуренция. Сбалансированность спроса и предложения происходит под воздействием, прежде всего, рыночной конкуренции.

Долгое время в основе рыночной теории лежало требование свободной конкуренции и невмешательства государства в экономику, опирающееся на разработанную А. Смитом теорию «невидимой руки». Однако теория Дж. Кейнса доказывает неверность идеи о саморегулировании механизма рыночной экономики, невмешательства государства. Основные положения кейнсианства заключаются в том, что государство должно способствовать стимулированию спроса, всемерно поощряя инвестиционную активность и тем самым активно влияя на повышение уровня занятости населения государства.

Учитывая признаки развитого продовольственного рынка, следует отметить, что при развитии отечественного продовольственного рынка их отдельные элементы в нем присутствуют, но не образуют единой системы. Особенно это касается региональных продовольственных рынков. Формирующийся в стране продовольственный рынок состоит из системы взаимосвязанных федеральных, региональных и местных рынков.

Как отмечают А. И. Алтухов и Г. И. Макин, региональный продовольственный рынок представляет собой совокупность социально-экономических отношений в сфере обмена, посредством которых осуществляется реализация продукции АПК на территории региона [5].

Развитие продовольственного рынка предполагает наличие на нем конкурентных сил. Конкуренция представляет собой механизм, с помощью которого возможно направлять в интересах общества деятельность фирмы, стремящейся к прибыли. Важным признаком конкурентных рынков продовольствия является свобода деятельности:

- для потребителей – выбирать, что они хотят купить;
- для предприятия – выбирать новые виды продукции и сбывать их;

- для новых предприятий – включаться в продовольственный комплекс;
- для фермеров – принимать решения, что, как и где производить и когда сбывать;
- для покупателей и продавцов – совершать взаимно полезные обмены.

Конкуренция в продовольственном комплексе бывает нескольких типов:

- конкуренция продуктов – возникает между альтернативными и заменяющими продуктами, такими как говядина и свинина;
- конкуренция организаций – выражается в соперничестве продавцов аналогичных видов товаров, может проявляться в соперничестве в конкуренции торговых марок;
- межрегиональная конкуренция – это соперничество между регионами в производстве и торговле сельскохозяйственной продукцией;
- институциональная конкуренция – заключается в соперничестве между конкурирующими организациями и учреждениями маркетинга: продовольственными магазинами, ресторанами быстрого питания и др.;
- функциональная конкуренция – возникает в случаях, когда две фирмы или более состязаются за право выполнять конкретную маркетинговую функцию: хранение, перевозки;
- горизонтальная конкуренция – существует между организациями на одном уровне: переработка, оптовая и розничная торговля;
- вертикальная конкуренция – возникает при договорных отношениях в рамках сделок между покупателями и продавцами продовольствия при разделении выручки, поступающей от потребителей продуктов питания; она нередко бывает полезной для разграничения ценовой и неценовой конкуренции, при которой упор делается на «четыре Р» в маркетинговой стратегии организации.

На деятельность организации влияет структура отрасли, которая характеризуется числом представленных организаций, сходством предложений продукции и услуг. Рынок «соткан» из отношений между продавцами и покупателями. Поэтому для создания и нормального функционирования рынка необходим свод законов и эффективно действующая правовая среда, обеспечивающая выполнение контрактов. В этой связи в качестве необходимых условий полноценных отношений товарного рыночного обмена можно выделить достаточность товарных масс по количеству, качеству и ассортименту; надежное состояние финансово-кредитной системы; правовой характер отношений поставщиков и потребителей; развитую инфраструктуру движения товаров.

Неотъемлемым элементом рынка являются его субъекты – поставщики, покупатели, посредники в продвижении товаров и услуг на рынке. Состав субъектов рынка зависит от конкретной экономической ситуации, уровня развития производительных сил, экономических (в том числе рыночных) отношений и других факторов.

Экономисты выделяют шесть основных групп участников агропромышленного рынка: сельские товаропроизводители; организации, поставляющие сельским товаропроизводителям промышленные товары и оказываю-

щие им различные услуги; организации по заготовке, хранению и переработке сельскохозяйственной продукции; торговая сеть; учреждения банковской системы; структуры государственного и хозяйственного регулирования рыночных отношений в АПК [1; 3; 5].

На уровне макроэкономики конкурентоспособность продукции (услуг) определяется соотношением ее качества и цены, условиями поставки, формами платежа, видом транспортировки и другими факторами. Выявление устойчивых связей между затратами и качеством продукции, а также соотношения между другими параметрами деятельности сравниваемых объектов является сложной задачей анализа их конкурентоспособности. Являясь рычагом и средством конкуренции, конкурентоспособность остается категорией общественного развития, проявляемой в соперничестве объектов для достижения определенных целей. Что же касается конкурентоспособности продукции, то это технико-экономическая категория, оцениваемая совокупностью технических и экономических показателей, факторов и условий.

Основными факторами обеспечения конкурентоспособности продовольственной продукции являются производственный персонал и его квалификация: качество труда, эффективное организационно-экономическое управление промышленностью, системы управления промышленностью, системы управления качеством инновационных процессов и изготовления продукции, совершенные технологии производства и оборудование, поддержание качества продукции (ремонтные службы, сервис), технология сбора и обработки информации, стандартизация и сертификация продукции, ипотечное кредитование, инвестирование, использование информационно-маркетинговой системы прогнозирования конъюнктуры рынка, управление рисками, функционально-стоимостный анализ.

Конкурентоспособность имеет качественную и количественную сторону. Качественная сторона конкурентоспособности включает в себя противостояние конкурентов, столкновение их экономических интересов при относительном равновесии между спросом и предложением.

В условиях неудовлетворенного спроса на товар нижняя граница конкурентоспособности совпадает с нормой прибыли по сельскому хозяйству, т. е. с отношением прибыли к затратам труда и средств или по упрощенной схеме – рыночной цены к индивидуальным издержкам производства (коммерческой себестоимости продукции). При насыщении рынка тем или иным видом сельскохозяйственного товара нижняя граница его конкурентоспособности определяется средней нормой прибыли по народному хозяйству, что обусловлено переливами капитала, дополнительными затратами по воспроизводству почвенного плодородия и среды обитания, понижающейся эффективностью каждого дополнительного рубля вложений в землю.

В системе мер по развитию экономических взаимоотношений большое значение имеет создание в регионе специализированных оптовых рынков на базе созданной инфраструктуры и продовольственного потенциала. Формирование региональных оптовых продовольственных рынков является не только способом поддержания

доходов сельскохозяйственных товаропроизводителей и формирования продовольственных фондов, но и средством регулирования рынков, создания устойчивых каналов реализации продукции и поддержания условий нормальной конкуренции.

Необходимыми условиями успешного функционирования любого оптового продовольственного рынка, по нашему мнению, является развитая сеть производителей сельскохозяйственной продукции и сырья для перерабатывающей промышленности, закупочная, складская распределительная и транспортная логистика, маркетинговые коммуникации.

Распределительная инфраструктура продовольственного регионального рынка должна дополняться банковскими структурами, которые обеспечивают своевременность и гарантированность расчетов покупателей и продавцов. Немаловажным для формирования оптового рынка является маркетинг сельскохозяйственной продукции, который должен изучать наличие и запасы продовольствия по видам, качественные параметры продовольствия, рыночные цены, динамику и прогноз предложения и спроса продукции АПК.

Обобщение мнений экономистов позволяет сформулировать некоторые основные положения по организации и функционированию регионального продовольственного рынка. Следует отметить, что в силу природных и экономических условий специфичность отечествен-

ного продовольственного рынка обусловлена неравномерностью производства продукции и различной самообеспеченностью продовольствием отдельных регионов, преобладанием преимущественно крупного землепользования. В связи с этим при создании необходимых условий для функционирования продовольственного рынка должны учитываться экономические и природные особенности. При этом комплексная взаимоувязанная система экономических и организационно-административных мер должна опираться на прочную нормативную базу, регламентирующую функционирование не только продовольственного рынка, но и АПК в целом.

Библиографические ссылки

1. Коулз Р. Маркетинг сельскохозяйственной продукции. М. : Колос, 2000.
2. Котлер Ф. Основы маркетинга. Новосибирск : Наука, 1992.
3. Гранберг А. Г. Основы региональной экономики : учебник для вузов. 3-е изд. М. : ГУ ВШЭ, 2003.
4. Котов В. Методология государственного управления инвестициями в системе рыночных отношений // Маркетинг. 1997. № 3. С. 3–18.
5. Алтухов А. И., Макин Г. И. Региональный продовольственный рынок: проблемы формирования и развития. М., 1997.

I. V. Kovaleva

TO THE QUESTION OF THEORY OF REGION MARKET OF PRODUCTS AND SERVICE FUNCTIONING

The author dwells upon historical aspects of development of theory of region market, and points of view of the modern russian and foreign scientists. The author underlines the features of food providing market of the region.

Keywords: the region market, theory of development, price, competitive advantages, investments.

© Ковалева И. В., 2011

УДК 332.145

Г. И. Латышенко

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КЕЖЕМСКОГО РАЙОНА НА БАЗЕ СОЗДАНИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассмотрены основные направления развития Кежемского района Красноярского края, предложенные автором в проекте программы развития муниципального образования, разработанной в рамках хозяйственного договора, заключенного между администрацией района и СибГАУ. Представлены результаты анализа существующих в районе проблем, предложены конкретные меры, направленные на развитие малого и среднего бизнеса.

Ключевые слова: программа развития малого и среднего предпринимательства в Кежемском районе на 2010–2020 гг.

Развитие малого и среднего предпринимательства является одним из основных факторов развития эконо-

мики отдельных муниципальных образований, регионов и страны в целом. Развитие малого и среднего предпри-

нимательства на местах – это уникальный и эффективный инструмент:

- для формирования рыночной структуры и конкурентной среды в экономике региона;
- роста производства продукции, товаров и услуг;
- сокращения числа безработных;
- рационального использования местных ресурсов;
- пополнения бюджета за счет налоговых поступлений;
- решения важных социальных проблем.

Программа развития малого и среднего предпринимательства в Кежемском районе на 2010–2020 гг. разработана коллективом сотрудников ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева». Основанием для разработки программы послужило решение администрации Кежемского района.

Основной целью предлагаемой программы является комплексное развитие хозяйства района на основе высокого уровня развития малого и среднего предпринимательства за счет максимального использования имеющихся ресурсов и экономических предпосылок; создание точек роста и формирование собственной социально-экономической базы района.

Разработке основных направлений предшествовал анализ существующих проблем, сдерживающих развитие малого и среднего предпринимательства в Кежемском районе.

К числу внутренних причин, оказывающих негативное влияние на развитие предпринимательской деятельности в районе, можно отнести следующие:

1. Территориальная удаленность района от краевого центра и других крупных населенных пунктов. Расстояние от Кодинска до Красноярска составляет 735 км. Кежемский район не имеет выхода на железнодорожную сеть. Ближайшая железнодорожная станция Карабула расположена в 246 км от Кодинска – в Богучанском районе. В сторону Братска по автодороге Кодинск – Седаново с выходом на Иркутскую железную дорогу – более 300 км.

2. Неразвитость транспортной инфраструктуры, которая является основным сдерживающим фактором развития экономики района в целом. Ввоз и вывоз продукции из района сопряжен со значительными трудностями перемещения и дороговизной перевозок.

3. Строительство Богучанской ГЭС, нанесшее значительный ущерб сельскохозяйственному производству района. Вывод из оборота более 18 тыс. га сельскохозяйственных угодий, ликвидация сельскохозяйственных предприятий и переселение людей привело, практически, к исчезновению сельскохозяйственного производства. По причине отсутствия альтернативных видов деятельности основными источниками доходов населения являются личное подсобное хозяйство, охота, рыбная ловля и сбор дикоросов.

4. Структура и менталитет коренного населения. Сложности на пути развития малого предпринимательства в районе объясняются не только неблагоприятными условиями внешней среды, но и определенным недопониманием местного населения всех возможностей предпринимательской деятельности.

Местное население является неоднородным и в силу причин, связанных с длительным периодом неопределенности (из-за затянувшегося более чем на 30 лет строительства Богучанской ГЭС), которая порождает неуверенность в будущем, невозможность основательного долгосрочного планирования своей деятельности и иждивенческие настроения. Отсутствие в крае эффективной политики закрепления кадров на территории Нижнего Приангарья ведет к оттоку трудоспособного населения, особенно молодежи. Молодежь уезжает из сельских поселений в город Кодинск либо в другие города и районы края. Программа переселения жителей из зоны затопления не предполагает трудоустройство, что отрицательно сказывается как на уровне жизни населения (более четверти населения находится за чертой бедности), так и на миграционных процессах. Коренные жители не желают выезжать в другие районы и города края, где уровень безработицы также достаточно высок. Переселение в Кодинск требует соответствующего развития социальной инфраструктуры города и создания новых рабочих мест.

5. Одной из основных причин низкой предпринимательской активности является отсутствие опыта у местного населения в области организации собственного бизнеса, слабая адаптация к конкретным условиям экономики.

6. Недостаточно эффективные меры со стороны краевых и муниципальных властей, общественных организаций и образовательных учреждений, направленные на формирование позитивного образа предпринимателя, пропаганду и популяризацию предпринимательской деятельности.

7. Недостаточно развитая в районе образовательная инфраструктура. Проводимые администрацией района семинары, учебы и лекции призваны оказать помощь начинающим предпринимателям, но они носят непостоянный, эпизодический характер, поэтому существенно не меняют сложившуюся обстановку.

8. Нехватка квалифицированных кадров для организации бизнеса и работы на малых предприятиях. Отсутствует система подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров начального профессионального и среднего специального образования.

9. Ограниченность доступа предпринимателей к финансовым средствам и трудности в получении кредитов и субсидий из-за отсутствия на территории района филиалов крупных финансовых учреждений, а также залогового имущества у бизнеса для обеспечения кредитов и нехватки средств на эти цели у местных органов самоуправления.

10. Правовая неурегулированность вопросов распоряжения муниципалитетом местными нестратегическими минерально-сырьевыми и природно-биологическими ресурсами.

Нерешенность этих и других проблем является причиной низкой предпринимательской активности населения в Кежемском районе.

На основе проведенного анализа существующих проблем, сдерживающих развитие района, предложен комплекс мероприятий, включенный в программу развития малого и среднего предпринимательства в Кежемском районе на 2010–2020 гг., разработанную сотрудниками СибГАУ.

Создание комплексной инфраструктуры поддержки малого предпринимательства на краевом и муниципальном уровнях предполагает следующие направления:

1. Финансово-кредитная поддержка:

- дальнейшее развитие системы гарантийно-залогового кредитования и системы кредитной потребительской кооперации;

- субсидирование части процентной ставки по кредитам и субсидирование части лизинговых платежей субъектов малого предпринимательства по договорам финансовой аренды (лизинга);

- развитие системы льготного кредитования субъектов малого предпринимательства, в том числе микрокредитования субъектов малого предпринимательства;

- создание в крае системы микрофинансирования как поддержки субъектов малого предпринимательства, основой которого является предоставление небольших средств на короткий срок для предпринимательских целей; микрофинансовые организации могли бы обеспечить субъекты малого бизнеса минимально необходимым стартовым капиталом и оборотными средствами.

Финансово-кредитная поддержка предполагает получение финансовой помощи из краевого бюджета и позволит местным предпринимателям получить кредит в банке, не имея достаточного обеспечения; отложить уплату процентов по кредиту; получить кредит по ставке рефинансирования; сформировать кредитную историю до обращения в банк; привлечь инвестиции на инновационный проект.

2. Информационно-консультационная поддержка:

- создание агентства (отдела) по поддержке малого и среднего бизнеса при администрации Кежемского района по типу инжиниринговой компании, основными функциями которого будут являться следующие: работа с предпринимателями и поддержка малого и среднего бизнеса на муниципальном уровне; проведение экспертизы и отбор предпринимательских проектов, оценка их экономической эффективности в плане применяемых технологий и оборудования; заключение о целесообразности их внедрения и частичного финансирования за счет средств бюджетов разных уровней;

- обеспечение доступа потенциальным и действующим предпринимателям по сети Интернет к краевой информационно-консультационной системе, созданной на базе городских и районных библиотек, включающих информационно-правовые центры; данная система предоставляет субъектам малого предпринимательства возможность интерактивного дистанционного консалтинга по любым вопросам, связанным с осуществлением предпринимательской деятельности.

3. Инфраструктурная поддержка: создание в Коди́нке бизнес-центра, основной целью которого будет являться юридическая, организационная, налоговая, бухгалтерская, образовательная, маркетинговая и консалтинговая помощь предпринимателям.

4. Обучение кадров для сферы предпринимательства:

- организация профессионально-технических училищ (лицеев) – филиалов канского и красноярских профессиональных училищ и лицеев – для подготовки кадров по профессиям для строительства, лесного комплекса, энер-

гетики и других специальностей, востребованных на территории района;

- разработка и внедрение многоуровневых программ обучения лиц, желающих заниматься бизнесом, в том числе на базе бизнес-центра, в образовательных учреждениях района и учебных заведениях края;

- развитие у детей и молодежи интереса к предпринимательской деятельности через создание системы подготовки начинающих предпринимателей; поддержка предпринимательских инициатив молодежи через проведение специализированной олимпиады по основам предпринимательской деятельности; введение профильных курсов или факультативов для школьников старших классов; организация смен в рамках летнего отдыха подростков, конкурсного бесплатного обучения старшеклассников основам предпринимательской деятельности.

5. Содействие предпринимателям в продвижении их продукции за пределы Красноярского края:

- предоставление субсидий субъектам малого предпринимательства, производящим товары (работы, услуги), предназначенные для экспорта;

- организация и проведение выставок, стажировок, контактов с представителями деловых кругов Красноярского края, регионов Российской Федерации и зарубежных стран.

6. Разработка и внедрение механизмов, стимулирующих развитие малого инновационного предпринимательства:

- подготовка соответствующих нормативно-правовых актов, устанавливающих основу для эффективного использования природных и минерально-сырьевых ресурсов района;

- вовлечение молодежи в инновационную деятельность через разработку и внедрение специальной стипендиальной программы района и края;

- проведение конкурсов инновационных проектов;

- участие в региональных (межрегиональных) выставках, ярмарках, фестивалях инновационных проектов;

- оказание содействия субъектам малого предпринимательства в коммерциализации инновационных разработок и реализации, в том числе продвижении инновационных проектов.

Развитие Кежемского района в перспективе связано с реализацией проектов по освоению Нижнего Приангарья. Освоение ресурсов района (лесных, гидро- и минерально-сырьевых – железо, газ, бурый и каменный уголь, фосфориты, исландский шпат и др.) предусмотрено в рамках крупных инвестиционных проектов развития Нижнего Приангарья, которые будут реализованы не ранее, чем через 10–15 лет. Но территория района богата другими ресурсами (торф, минеральные воды, лечебные грязи, отходы лесозаготовки и др.), освоение которых в ближайшее время не предусматривается, но которые необходимо добывать и перерабатывать уже сейчас, используя сложившиеся благоприятные условия для развития малого и среднего предпринимательства в России. Необходимо на базе имеющихся ресурсов, с учетом права на их использование, развивать новые производства, осваивать новые виды продукции.

Ввод в действие крупных промышленных предприятий на территории района в ближайшие 5–10 лет не пре-

дусматривается, что связано не только с недостаточно развитой инфраструктурой, но и с финансовыми возможностями как бизнеса, так и власти в условиях финансового кризиса. Несмотря на это, развитие территории не должно останавливаться. Руководству района необходимо разработать стратегическую программу развития Кежемского района на период до 2020 г. Ведущая роль на первом этапе должна быть отведена развитию малого предпринимательства, которое впоследствии может стать базой для создания среднего и крупного бизнеса.

На среднесрочную перспективу до 2012 г. приоритетными направлениями в государственной политике являются следующие: развитие субъектов малого и среднего предпринимательства, комплексное развитие лесопромышленного комплекса, развитие агропромышленного комплекса и предприятий по производству продуктов питания, развитие добычи топливно-энергетических полезных ископаемых на территории Красноярского края на период 2008–2010 гг., в рамках которого разработана краевая программа «Организация и развитие торфяной отрасли Красноярского края нового поколения на 2009–2015 гг.»

На основе данных программ создаются благоприятные условия для реализации инвестиционных проектов, направленных на использование ресурсного потенциала за счет возможностей малых и средних предприятий. В первую очередь, речь идет о комплексном использовании заготавливаемой древесины и переработке отходов лесозаготовок и лесопиления, заготовке и переработке торфа, развитии сельскохозяйственных предприятий и др.

Для реализации программы развития малого и среднего предпринимательства в районе, необходимо использовать пограничные (с другими районами края и краевыми властями) функции и ресурсы:

- сотрудничество с краевыми органами власти в области строительства новых промышленных объектов: птицефабрики, зверосовхоза, рыбозаводов, предприятий по переработке древесных отходов, торфа, производства строительных материалов, объектов по добыче и расфасовке минеральных вод и целебных грязей;
- сотрудничество с краевыми органами власти по вопросам поддержки и развития малого и среднего предпринимательства;
- разработка стратегии развития Кежемского района на период до 2020 г. и программы развития малого и среднего предпринимательства на период до 2020 г.;
- включение предлагаемых объектов и планируемых мероприятий в соответствующие программы развития Красноярского края в части софинансирования затрат на их реализацию;
- привлечение инвесторов (крупного бизнеса, участвующего в реализации проектов развития Нижнего Приангарья) к реализации мер по созданию туристического и лечебно-оздоровительного комплекса, а также проектов увеличения продовольственной базы района.

На территории района имеются все предпосылки для дальнейшего и самодостаточного развития. На базе местных ресурсов целесообразно организовать развитие промышленного и сельскохозяйственного производства, что обеспечит занятость трудоспособного населения, привлечение молодых специалистов, развитие социаль-

ной инфраструктуры. От того, какими темпами будет развиваться территория, появятся ли новые производства и, соответственно, новые виды продукции, способные конкурировать не только внутри района, но и в крае, будет зависеть статус Кодаинска и муниципального образования в целом.

Анализ ресурсного и производственного потенциалов Кежемского района позволил определить возможные критерии специализации территории, на основе которых выбраны точки роста, а также ориентиры инновационного развития района. Перспективными направлениями развития района являются агропромышленное производство и промышленный комплекс.

Развитие агропромышленного комплекса. Приоритетной целью развития сельскохозяйственного производства в Кежемском районе является формирование устойчиво и динамично развивающегося сельскохозяйственного комплекса за счет повышения эффективности образующих его хозяйствующих субъектов, увеличения их числа, а также расширения рынков сбыта сельскохозяйственной продукции местного товаропроизводителя, в том числе за пределы района.

Достижение намеченной цели зависит от решения системных, организационных и инвестиционных задач и требует создания на основе государственно-частного партнерства управляющей агропромышленной компании в качестве центра по координации и развитию сельскохозяйственного производства.

В рамках программы развития сельского хозяйства предлагается ряд инвестиционных проектов, являющихся новыми, но в то же время способными придать дополнительный импульс развитию данного направления на территории муниципального образования.

Развитие агропромышленного комплекса необходимо для повышения уровня обеспеченности населения качественными продуктами питания местного производства, которые по цене будут значительно ниже ввозимых из других территорий, а также уровня занятости местного населения. Это не только продовольственная безопасность, но и возможность развивать сопутствующие производства и услуги. Анализ потребностей в продовольствии выявил значительные перспективы роста рынков сбыта сельскохозяйственной продукции района, которые связаны с промышленным развитием Нижнего Приангарья. Кроме того, на территории района имеется сырье, использование которого позволит значительно повысить эффективность растениеводства и обеспечить сбалансированность кормовой базы животноводства и птицеводства.

В настоящее время есть все предпосылки вывести сельскохозяйственное производство района на новый уровень развития за счет строительства птицефабрики с целью выращивания бройлеров и производства яиц, комбикормового мини-завода, двух рыбозаводов, зверофермы, тепличного хозяйства, организации крупных фермерских хозяйств.

Проектом предусматривается строительство на территории Кежемского района птицефабрики, производящей яйца и куриное мясо, для обеспечения продовольствием местного производства населения Кодаинска, а также строительных площадок Нижнего Приангарья. Строи-

тельство и оборудование корпуса для выращивания птицы на мясо потребует не менее 45 млн руб., которые окупятся через 4–5 лет. Инвестиции в создание яичного производства в размере 11,25 млн руб. предположительно окупятся через 6 лет.

Развитие животноводства и птицеводства требует расширения кормовой базы, для чего необходимо обеспечить восстановление сельскохозяйственных угодий в районе взамен затопляемых. На первом этапе предполагается ввести около 5 тыс. га, которые будут использованы как под зерновые, так и под кормовые культуры.

Эффективность производства птицеводческой продукции можно повысить за счет строительства комбикормового завода, так как в себестоимости мяса птицы и яиц затраты на корма составляют почти 70 %. Завоз комбинированных кормов из других территорий отрицательно скажется на себестоимости готовой продукции. Поэтому экономически целесообразно производить корма в непосредственной близости от потребителя. Предлагается построить на территории муниципалитета небольшой комбикормовый завод с целью обеспечения кормами птицеводства и животноводства Кежемского района.

В проекте создания комбикормового производства предлагается использовать современную технологию изготовления кормов. Дорогостоящие премиксы и различные добавки по разработанной схеме заменяются хвойно-витаминной мукой. Размер требуемых инвестиций составит 8,20 млн руб., которые окупятся, при условии строительства птицефабрики – основного потребителя комбинированных кормов, за 2–2,5 года.

Наиболее рациональный вариант развития сельскохозяйственного производства возможен при совмещении животноводства с растениеводством, кормопроизводством и переработкой сельскохозяйственной продукции на местах. Формируется агропромышленный кластер, в состав которого войдут: птицефабрика, зверосовхоз (в будущем), рыбозаводы, тепличное хозяйство, предприятия по производству кормов, биологически активных кормовых добавок и биоудобрений на базе использования отходов лесной отрасли, органических отходов птицефабрики и торфа.

Удобрения, получаемые из отходов животноводства, птицеводства и торфа, содержат активные биологические стимуляторы класса ауксинов, повышают урожайность в 2 и более раз в зависимости от вида культур. Такие удобрения в 100 раз эффективнее навоза. Кроме того, торф незаменим в тепличном овощеводстве, цветоводстве, особенно с использованием гидропоники.

Следующим направлением интенсификации сельского хозяйства района предлагается повсеместное применение хвойно-витаминной муки, производимой из отходов лесозаготовки и деревопереработки, и кормов с ее применением. Сбалансированное кормление животных и птиц является залогом эффективного развития животноводства и птицеводства в районе со сложными природно-климатическими условиями.

Еще одним направлением может стать создание тепличного хозяйства при птицефабрике. Использование биоустановки, работающей на птичьем помете и отходах бойни, позволит обеспечить теплом и качественными биоудобрениями круглогодичное производство овощей.

Формирование условий эффективного развития материально-технической базы сельскохозяйственного производства требует проведения и других мероприятий:

- повышение уровня механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства;
- развитие ремонтно-механической базы;
- организация крупных фермерских хозяйств;
- увеличение поголовья скота (КРС и свиней);
- повышение сохранности поголовья;
- повышение продуктивности животноводства;
- совершенствование агротехнических методов и способов ведения хозяйства;
- создание мощностей пищевой и перерабатывающей промышленности: мясной, молочной, хлебопекарной, кондитерской отраслей, переработки дикоросов;
- переход на ресурсосберегающие технологии за счет внедрения новых агротехнических и биотехнологий;
- создание в районе организационной инфраструктуры, включающей управляющую агропромышленную компанию (некоммерческую организацию), систему потребительской кооперации (заготовительных и сбытовых организаций), сервисного центра по закупке, ремонту и обслуживанию сельскохозяйственной техники.

Развитие промышленного комплекса. Приоритетной целью развития промышленного потенциала Кежемского района является создание малых и средних предприятий, работающих на местных ресурсах, с целью максимального обеспечения местных рынков собственной промышленной продукцией высокого качества, а также формирование основы для выхода на рынки других регионов с новыми видами промышленной продукции.

Наличие на территории природных и минерально-сырьевых ресурсов (лес, торф, минеральные воды, лечебные грязи, глины и суглинки) позволяет создать, а в дальнейшем и развивать, промышленный потенциал района в следующих направлениях.

В лесном комплексе района предполагается:

- развитие инфраструктуры лесозаготовок и лесопереработки;
- комплексная переработка древесины;
- переработка отходов от лесозаготовок, лесопиления и деревообработки, получение конкурентоспособной продукции (биологически активных кормовых добавок, древесного и активированного угля и др.).

В настоящее время показатели развития лесного комплекса в районе свидетельствуют о неэффективном использовании природных ресурсов. Менее 10 % от заготовленной древесины перерабатывается на месте. Вопрос рационального лесопользования требует принятия законодательного акта на уровне края, позволяющего органам местного самоуправления искать решения данной проблемы, устанавливать предельный размер цен на древесные отходы, создавать предприятия по их переработке.

На ближайшую перспективу предусматривается реализовать два наименее затратных и эффективных проекта:

- 1) создание мобильного мини-комплекса по переработке древесной зелени и получению биологически активных кормовых добавок (хвойно-витаминной муки) для животноводства и птицеводства;

2) организация производства древесного угля.

Отходы лесозаготовок (сучья, ветки, комли) экономически целесообразно использовать для производства качественного древесного угля, удобрений, топливных брикетов для мини-ТЭС, строительство которых рекомендуется для отдаленных поселков, небольших предприятий и теплиц.

Комплекс по заготовке и переработке торфа предполагает использование современных технологий заготовки и переработки торфа и получение продукции с высокой добавленной стоимостью (удобрений, топливных брикетов, теплоизоляционных строительных материалов, сорбентов – поглотителей вредных веществ, торфодерновых покрытий для озеленения и др.).

Особенно эффективно использование модульных котельных на торфе в населенных пунктах, отдаленных от источников электроснабжения, а также фермерских крестьянских хозяйствах.

Комплекс по производству минеральных вод и лечебных грязей требует развития инфраструктуры по добыче и расфасовке минеральных вод и целебных грязей.

Все вышеперечисленные проекты разработаны для реализации силами малого и среднего бизнеса, для чего в промышленном развитии Кежемского района необходимо создание организационной инфраструктуры, включающей:

- агентство (отдел) по поддержке малого и среднего бизнеса при администрации района;
- бизнес-центр (в форме некоммерческой организации);
- бизнес-инкубатор (на базе бизнес-центра).

Таким образом, реализация предлагаемых проектов развития малого и среднего предпринимательства в промышленном, агропромышленном и туристско-рекреаци-

онном комплексах даст возможность району восстановить и развить кадровый и производственный потенциал, а также развить социальную сферу. Это возможно при создании благоприятного инвестиционного климата, поддержке предпринимательской инициативы местного населения.

Несмотря на существующие проблемы, сдерживающие экономический рост района, в настоящее время сложилась благоприятная экономическая ситуация в пользу развития отраслей специализации района. Это реальная поддержка сельскохозяйственного производства, производства продуктов питания, развития малого и среднего предпринимательства, проводимая на государственном и региональном уровнях. Значительная поддержка осуществляется в лесной промышленности в части комплексного использования древесины и отходов, инициатив по производству новых видов энергии и др.

Район может получить существенную поддержку на федеральном и краевом уровнях, если средне- и долгосрочное развитие малого и среднего бизнеса будет представлено в форме биотехнологического кластера и обоснована его ресурсная целесообразность и экономическая эффективность. В настоящее время сложился наиболее удачный момент, который нельзя упускать администрации района, иначе территория станет просто вахтовым поселком Нижнего Приангарья.

Предлагаемые направления развития малого и среднего бизнеса обеспечат создание новых рабочих мест, приток новых кадров, повышение уровня жизни населения, решение социальных проблем, увеличение налогооблагаемой базы, а значит, и большую наполняемость бюджета Кежемского района.

G. I. Latyshenko

THE BASIC DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF KEZHEMSKY AREA ON THE BASIS OF CREATION OF THE SMALL AND AVERAGE ENTERPRISES

In the given article the basic directions of development of Kezhemsky area of Krasnoyarsk region, offered by the author in the project of the Program of development of the municipal union, developed within the limits of the economic agreement concluded between administration of area and SibSAU are considered.

Keywords: the Program of development of small and average business in Kezhemsky area for 2010–2020.

© Латышенко Г. И., 2011

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Рассматриваются методические рекомендации оценки устойчивости развития машиностроительного комплекса Красноярского края. Дается оценка состояния машиностроительного комплекса на современном этапе. Проводится анализ факторов, в значительной степени повлиявших на изменение интегрального индикатора устойчивого развития за анализируемый период.

Ключевые слова: машиностроительный комплекс Красноярского края, устойчивое развитие, факторы и показатели устойчивого развития, интегральный индикатор устойчивого развития.

Согласно Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г., «новая волна технологических изменений в мире, обесценивающая многие традиционные факторы роста, а также исчерпание собственных источников природных ресурсов, способствуют переходу российской экономики от экспортно-сырьевого к инновационному социально ориентированному типу развития» [1].

Материальную базу ускорения научно-технического прогресса и технического перевооружения народного хозяйства определяет уровень развития машиностроения, роль которого существенно возрастает в современных условиях. Однако в течение четверти века (1985–2010 гг.) данная отрасль экономики России находится в состоянии длительной депрессии, осложнившейся в условиях мирового финансово-экономического кризиса. В этих условиях особую значимость приобретает решение проблемы перевода предприятий машиностроительного комплекса на уровень устойчивого развития. Для выполнения поставленной задачи требуются новые организационно-управленческие решения, обеспеченные необходимым методическим инструментарием.

Теоретической и методологической базой для проведения исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых, специалистов в области производственного и стратегического менеджмента, учета и анализа производственной деятельности, оценки финансово-экономического состояния различных субъектов хозяйствования.

В зарубежной литературе проблема устойчивого развития промышленных отраслей и комплексов нашла отражение в публикациях таких авторов, как Дж. Ст. Милля, Й. Шумпетера, Р. Ф. Харрода, Е. Домара, Р. Солоу, П. Ромера, Р. Лукаса, М. Портера, Ф. Котлера, Д. Хэя, Д. Морриса и др. Регионально-отраслевые вопросы функционирования предприятий машиностроительного комплекса в рыночных условиях исследованы Р. З. Акбердиным, В. А. Огановым, А. П. Огурцовым, В. И. Синько, В. А. Таран и др. Теоретико-методологические и методические вопросы оценки финансово-экономического состояния предприятий различных форм собственности рассматриваются в работах И. Т. Балабанова, В. В. Ветрова, В. В. Ковалева, Е. С. Стояновой, А. Д. Шеремета, Э. Альтмана, Р. Брейли, С. Майерса, Р. Манна, Э. Майера, Р. Н. Холта и др.

Однако проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что, с одной стороны, про-

блема обеспечения устойчивого развития машиностроительных предприятий и комплексов на сегодняшний день является актуальной и находится в центре внимания ученых-экономистов, а с другой стороны, в осуществляемых научных исследованиях остается недостаточно разработанной методическое обеспечение. Внимание отечественных специалистов сосредоточено в основном на проблемах устойчивого развития предприятий, а не комплексов. Кроме того, основной акцент сделан на финансово-экономической устойчивости, а вопросы социальной и экологической устойчивости остаются на втором плане.

Информационной базой для данной работы послужили научные публикации в периодической печати, материалы Госкомстата России и статистическая отчетность предприятий машиностроительного комплекса.

Основные результаты исследования заключаются в выборе системы оценочных показателей, позволяющих осуществлять диагностику уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса региона, выстроена система логично увязанных между собой последовательных расчетных операций по определению величины интегрального индикатора устойчивого развития и предложена его оценочная шкала.

Объектом исследования данной работы является машиностроительный комплекс Красноярского края, в состав которого входят предприятия тяжелого, транспортного, лесозаготовительного, электротехнического, сельскохозяйственного, инструментального, ракетно-космического и радиотехнического машиностроения.

Формирование комплекса обусловлено, в первую очередь, его «военным» происхождением на базе предприятий, эвакуированных в Сибирь в период Великой Отечественной войны. В послевоенные годы советского периода машиностроение являлось инновационным центром освоения новых технологий добычи и переработки металлов и производства энергии.

В конце 1990-х – начале 2000-х гг. государственная политика регионального развития вступила в период масштабной перестройки и привела к возникновению целого комплекса экономических, социальных и политико-правовых проблем, непосредственно отразившихся на устойчивости работы машиностроительных предприятий региона. Мировой финансово-экономический кризис обострил существующие проблемы, в 2009 г. объем производства товаров (работ, услуг) машиностроительных предприятий края по сравнению с 2008 г. сократился на 18 % [2].

По поручению губернатора Красноярского края Л. В. Кузнецова региональным отделением Союза машиностроителей России разрабатывается концепция развития машиностроительной отрасли в Красноярском крае, а также на уровне правительства края ведутся работы по формированию проектов технологической платформы его устойчивого развития. На первом этапе осуществления промышленной политики должна быть разработана стратегия устойчивого развития машиностроительного комплекса региона. Реализация данной стратегии потребует, прежде всего, создания научно обоснованной методики оценки уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса.

В качестве эффективного инструмента управления предлагаем использовать интегральный индикатор устойчивого развития машиностроительного комплекса, отражающий эффективность и инновационность использования инвестиционных ресурсов.

Оценка устойчивого развития машиностроительного комплекса является многофакторной и должна учитывать параметры различной физической сущности и размерности. Наиболее удобным способом решения такого рода компромиссных задач является процедура обобщения параметров, ведущая к единому параметру оптимизации [3]. Однако с такого рода обобщением связан ряд трудностей.

Во-первых, в силу того, что каждый частный параметр оценки имеет свой физический смысл и свою размерность, необходимо ввести для каждого из них некоторую безразмерную шкалу, являющуюся единой для всех параметров.

Во-вторых, трудность возникает в экспертной оценке весов частных показателей при комбинировании их в обобщенный показатель.

Одним из способов обобщения и построения шкалы предпочтения является функция желательности Е. С. Харрингтона [3]. Исходная функция основана на преобразовании натуральных значений частных параметров различной физической сущности и размерности в единую безразмерную шкалу желательности (предпочтительности). Назначение шкалы заключается в установлении соответствия между физическими и психологическими параметрами оптимизации.

Предлагаемые методические рекомендации оценки уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края основаны на построении обобщенной функции Е. С. Харрингтона [3; 4]:

1. Выявление значимых факторов, определяющих устойчивость развития машиностроительного комплекса Красноярского края.

2. Выявление частных показателей, оказывающих влияние на соответствующий фактор устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края.

3. Оценка экспертами по единичной шкале веса фактора в интегральном индексе устойчивого развития (X_{ij}) и веса частных показателей в соответствующем факторе устойчивого развития (x_{ij}).

4. Проверка согласованности мнений экспертов по коэффициенту вариабельности [5]:

$$v = \frac{\sqrt{\frac{k \cdot \sum_{j=1}^k x_j^2 - (\sum_{j=1}^k x_j)^2}{k \cdot (k-1)}}}{\frac{\sum_{j=1}^k x_j}{k}}, \quad (1)$$

где k – количество экспертов; x_j – значение весового коэффициента, предложенного j -м экспертом; j – номер текущего эксперта.

Если значение коэффициента вариабельности меньше 0,2, то мнения экспертов считаются согласованными. В противном случае, для получения согласованных оценок можно воспользоваться самым распространенным методом как за рубежом, так и в нашей стране – методом Дельфи [6].

5. Расчет усредненного значения весового коэффициента внутри согласованной группы экспертных мнений по фактору (X_i) и по частным показателям (x_i). Итоговый весовой коэффициент показателя определяем по методу медианы Кемени. Медианой Кемени является такая ранжировка, суммарное расстояние от которой до всех заданных экспертных ранжировок минимально (табл. 1) [7].

Принимаемые ограничения – $\sum_{i=1}^m x_i = 1$, $x_{ij} \geq 0$, где m – количество показателей, влияющих на фактор.

Мнение соответствующего j -го эксперта (с минимальным R) является средним и объявляется результатом экспертизы.

6. Вычисление значений частных показателей (чп_{*i*}) в анализируемом периоде (5–6 лет).

7. Расчет индексов частных показателей в рассматриваемом периоде:

$$I_i = \frac{\text{чп}_i}{\text{чп}_{\text{баз}}}, \quad (2)$$

где $\text{чп}_{\text{баз}}$ – базисное значение i -го частного показателя в расчетном периоде.

8. Определение на основе частных показателей интегрального показателя I_m , соответствующего каждому фак-

Таблица 1

Расстояние между мнениями экспертов

	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	R_i
Эксперт 1	0	r_{12}	r_{13}	r_{14}	$0 + r_{12} + r_{13} + r_{14} = R_1$
Эксперт 2	r_{21}	0	r_{23}	r_{24}	$r_{21} + 0 + r_{23} + r_{24} = R_2$
Эксперт 3	r_{31}	r_{32}	0	r_{34}	$r_{31} + r_{32} + 0 + r_{34} = R_3$
Эксперт 4	r_{41}	r_{42}	r_{43}	0	$r_{41} + r_{42} + r_{43} + 0 = R_4$
					$\min(R_1, R_2, R_3, R_4)$

Примечание. r_{ij} – расстояние Евклида от медианы Кемени до ранжировки j -го эксперта; x_{ij} – вес i -го показателя, определенный j -м экспертом; k – количество экспертов.

тору в системе оценки устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края

$$I_{ni} = \sum_{i=1}^m x_i \cdot I_i, \quad (3)$$

где m – количество показателей, влияющих на фактор.

9. Пересчет величины интегральных показателей с учетом весовых коэффициентов:

$$y_i = I_{ni} \cdot X_i. \quad (4)$$

10. Перевод значения интегрального показателя y_i в безразмерную шкалу желательности Харрингтона [3]:

$$d_i = e^{-y_i}. \quad (5)$$

11. Определение интегрального индекса устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края [3]:

$$I_{\text{инт}} = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdots d_n}, \quad (6)$$

где n – количество факторов в системе.

Способ задания предложенного показателя таков, что если хотя бы один интегральный показатель равен нулю, то интегральный индекс устойчивого развития будет равен нулю. В этом случае влияние данного фактора исключается из расчета.

12. Оценка уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края по шкале Е. С. Харрингтона [3], адаптированная под решение данной задачи (табл. 2).

13. Построение диаграммы, отражающей динамику изменения величины интегрального индекса устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края в анализируемом периоде.

14. Оценка влияния факторов на изменение индекса устойчивого развития.

Устойчивое развитие машиностроительного комплекса Красноярского края должно привести к достижению трех основных и классических целей: повышению экономической эффективности деятельности машиностроительных предприятий, повышению социальной устойчивости региона и улучшению экологической ситуации в крае. Поэтому в систему показателей предлагаем включить факторы экономической, социальной и экологической устойчивости.

Машиностроительный комплекс Красноярского края имеет большое социальное значение для региона, так как из общего числа занятых в промышленности 36,2 % – это работники машиностроительных предприятий [2].

Машиностроение края должно способствовать улучшению экологической ситуации региона. С одной стороны, производство энерго- и ресурсосберегающего оборудования оказывает косвенное влияние на рациональное использование природных ресурсов. С другой сто-

роны, разработка и внедрение оборудования по очистке выбросов, отходящих в атмосферу веществ, по очистке промышленных стоков, по обезвреживанию техногенных отходов и восстановлению нарушенных земель оказывают непосредственное влияние на экологические показатели Красноярского края.

Учитывая, что основными причинами технологического отставания машиностроительного комплекса Красноярского края являются утрата кредитной и инвестиционной привлекательности предприятий и снижение их ликвидности в результате постепенного обесценивания капитала в структуре финансовых балансов, считаем целесообразным в систему оценки устойчивого развития машиностроительного комплекса региона включить фактор финансовой устойчивости.

Современное состояние машиностроительного комплекса Красноярского края показывает, что без целенаправленной программы развития и инвестиционной государственной поддержки регион может безвозвратно потерять данный сектор экономики. Для того чтобы осуществлять грамотную политику по модернизации и техническому перевооружению действующих предприятий и организации новых, необходимо в систему показателей оценки устойчивого развития включить фактор инновационно-инвестиционной активности машиностроительных предприятий.

Таким образом, предлагаем в состав системы оценки уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края включить пять основных факторов: экономическую, финансовую, социальную и экологическую устойчивость и инновационно-инвестиционную активность.

При конструировании частных показателей в системе оценки факторов устойчивого развития машиностроительного комплекса принимаем во внимание следующие требования [3; 8]:

- число показателей должно быть достаточным, однако по возможности сведенным к минимуму;
- все показатели должны иметь прозрачную природу;
- не должно быть линейной зависимости между показателями;
- значение показателя должно быть выражено одним числом;
- показатель должен соответствовать требованию полноты, т. е. являться достаточно общим, неспецифичным, характеризовать объект как единое целое;
- сбор данных для расчета показателей не должен быть связан с необходимостью организации сложных, дорогостоящих и трудоемких операций.

В процессе исследования были выявлены основные показатели, влияющие на устойчивое развитие машино-

Таблица 2

Уровень оценки устойчивого развития машиностроительного комплекса по шкале Е. С. Харрингтона

Уровень устойчивого развития	Числовая система предпочтений
Очень низкий уровень развития	0,00–0,20
Низкий уровень развития	0,37–0,20
Средний уровень развития	0,63–0,37
Уровень устойчивого состояния	0,80–0,63
Уровень устойчивого развития	1,00–0,80

строительного комплекса Красноярского края (табл. 3). Также были рассчитаны значения этих показателей за исследуемый период 2004–2009 гг., по формуле (2) определены индексы частных показателей.

На основе экспертных оценок были получены веса частных показателей и веса факторов, используемых в расчете интегрального индикатора оценки уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края. По формуле (1) проведена оценка согласованности мнений экспертов, результаты оценки удовлетворяют требованиям (коэффициент варибельности $< 0,2$). Были рассчитаны усредненные весовые показатели по методу медианы Кемени.

По формуле (3) были определены интегральные показатели, по формуле (4) проведен пересчет значений интегральных показателей с учетом их весовых коэффициентов, по формуле (5) осуществлен перевод значений интегральных показателей в безразмерную шкалу жела-

тельности Харрингтона, по формуле (6) была рассчитана величина интегрального индикатора устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края за анализируемый период (рис. 1).

Как видно из рис. 1, величина интегрального индикатора устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края за анализируемый период не превышает 0,51, что по шкале Е. С. Харрингтона соответствует среднему, но не устойчивому уровню развития (см. табл. 2). Кроме того, за рассматриваемый период значение интегрального индекса устойчивого развития уменьшается и приближается к уровню низкого развития.

Влияние факторов на интегральный индикатор устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края за анализируемый период представлено на рис. 2.

Можно отметить, что с 2006 по 2008 гг. наблюдается положительная динамика частных показателей по факто-

Таблица 3

Система показателей оценки устойчивого развития машиностроительного комплекса (МК) Красноярского края

Экономическая устойчивость	Финансовая устойчивость	Социальная устойчивость	Инновационно-инвестиционная активность	Экологическая устойчивость
Производительность труда работников предприятий МК	Коэффициент текущей ликвидности	Удельный вес налоговых поступлений предприятий МК в общем объеме налоговых поступлений промышленности	Удельный вес инновационных товаров предприятий МК в общем объеме отгруженных товаров	Доля затрат на капитальный ремонт основных фондов по охране окружающей среды в общем объеме инвестиций в основной капитал по Красноярскому краю
Фондоотдача предприятий МК	Коэффициент автономии	Удельный вес занятых работников предприятий МК относительно всех занятых в промышленности	Доля организаций, осуществляющих инновации на предприятиях МК в общем числе организаций	Доля улавливаемых загрязняющих атмосферу веществ к выбросам, отходящим от стационарных источников, по Красноярскому краю
Уровень издержек обращения предприятий МК	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	Соотношение средней заработной платы предприятий МК относительно средней заработной платы предприятий промышленности	Удельный вес капитальных затрат предприятий МК, связанных с инновациями, в общем объеме инвестиций в основной капитал предприятий МК	Доля обезвреженных отходов к общему объему отходов производства и потребления по Красноярскому краю
Рентабельность продаж предприятий МК	–	Текущее кадров предприятий МК	Удельный вес инвестиций в развитие предприятий МК в общем объеме инвестиций промышленности	Доля рекультивированных земель к общей площади нарушенных земель по Красноярскому краю
Рентабельность продукции предприятий МК	–	Квалификация кадров предприятий МК	Доходность инновационной деятельности предприятий МК	–
–	–	–	Доходность инвестиционной деятельности предприятий МК	–

ру экономической устойчивости, которая положительным образом повлияла на интегральный индикатор устойчивого развития (вырос с 0,446 до 0,462 ед.). В дальнейшем, мировой финансово-экономический кризис негативным образом отразился на экономических и финансовых показателях, что привело к снижению уровня интегрального индикатора устойчивости.



Рис. 1. Динамика интегрального индикатора устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края

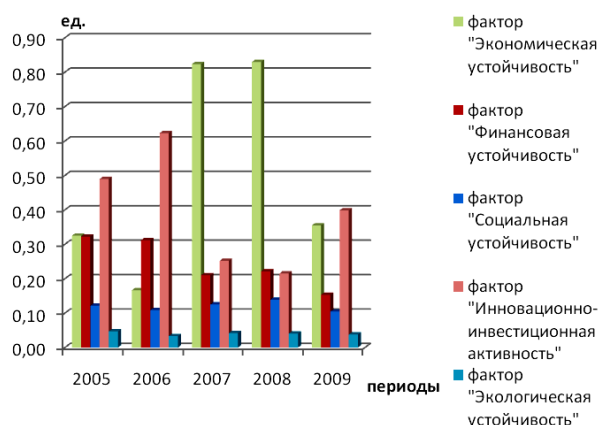


Рис. 2. Влияние интегральных показателей факторов на интегральный индекс устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края

Тенденция изменения интегрального показателя по фактору инновационно-инвестиционной активности совпадает с изменением интегрального показателя по фактору экономической устойчивости. Хотелось отметить, что по значимости влияния на интегральный индекс устойчивого развития машиностроительного комплекса данный фактор находится на втором месте.

Показатели финансовой устойчивости за весь рассматриваемый период имеют очень низкие значения, кроме того, сохраняется тенденция дальнейшего снижения. Финансовое состояние машиностроительных предприятий

оказывает неблагоприятное воздействие на уровень интегрального индекса устойчивого развития машиностроительного комплекса края.

Влияние интегральных показателей социальной и экологической устойчивости слабо выражено и имеет нестабильную динамику (рис. 2).

Предложенная модель расчета интегрального индикатора устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края учитывает влияние разных факторов и позволяет проводить не только ретроспективный анализ, но и оценить устойчивость состояния в будущем при нанесении различных управляющих воздействий.

В настоящее время предприятия машиностроительного комплекса Красноярского края находятся в весьма трудном положении. Это обусловлено как структурными особенностями экономики, унаследованными от советского периода, так и многочисленными нерешенными задачами. Требуется грамотная инвестиционная политика по переводу машиностроительных предприятий на уровень устойчивого развития. Системная оценка интегрального индикатора уровня устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края будет способствовать выбору вектора его целенаправленного, гармоничного, а главное, устойчивого развития.

Библиографические ссылки

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. : [утв. распоряжением правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р] [Электронный ресурс]. URL: base.consultant.ru.
2. Федеральная служба государственной статистики по Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: www.gks.ru.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976.
4. Корпоративное управление инновационным развитием : монография / под ред. Ю. П. Анискина. М. : Омега-Л, 2007.
5. Железко Б. А., Морозевич А. Н. Теория и практика построения информационно-аналитических систем поддержки принятия решений. Минск : Армита – Маркетинг, Менеджмент, 1999.
6. Экспертные оценки и методология их использования / Н. Е. Архангельский [и др.]. М. : Высш. шк., 1974.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений : учеб. пособие. М. : Изд-во «Март», 2004.
8. Семенова Т. Ю. Формирование системы показателей устойчивого развития крупного города [Электронный ресурс] // Проблемы современной экономики. 2007. № 2. URL: [http:// www.m-economy.ru](http://www.m-economy.ru) (дата обращения: 21.01.11).

S. L. Parfenova

ASSESSMENT OF STABLE DEVELOPMENT OF MACHINE-BUILDING COMPLEX OF THE KRASNOYARSK REGION

Guidelines for assessment of stable development of the Krasnoyarsk region machine-building complex are considered. Assessment of the present state of machine-building complex stable development is made. Analysis of factors, which have significantly affected the change of integral indicator of stable development for the analyzed period, is given.

Keywords: machine-building complex of the Krasnoyarsk region, stable development, factors and indicators of stable development, integral indicator of stable development.

© Парфенова С. Л., 2011

УДК 330.3

М. В. Пименова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ УРОВНЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматриваются этапы комплексной оценки уровня устойчивого развития машиностроительных предприятий на основе построения многофакторной системы показателей и расчета интегрального показателя устойчивого развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие, комплексная оценка уровня устойчивого развития, показатели устойчивого развития, интегральный показатель устойчивого развития, машиностроительные предприятия.

Машиностроение – базовая отрасль промышленного производства, создающая активную часть основного капитала и определяющая потенциал не только промышленности, но и экономики в целом. Уровень развития предприятий машиностроения оказывает самое непосредственное влияние на эффективность и производительность общественного труда, обороноспособность и экономическую независимость государства и является основой реализации стратегии устойчивого развития страны.

Устойчивое развитие предприятия – это эффективный целенаправленный процесс динамичного изменения качественных и количественных показателей его деятельности, обеспечивающий переход предприятия в качественно новое состояние на основе адаптации его внутренней среды к разнонаправленному воздействию факторов внешней среды.

Управление процессом устойчивого развития предприятия, оценка, анализ и контроль эффективности используемых средств и уровня достижения поставленных целей требуют разработки соответствующей системы показателей.

Несмотря на достаточно высокий интерес исследователей к вопросу устойчивого развития предприятий [1–3], до сих пор отсутствует общепризнанный научно обоснованный комплексный показатель для оценки его уровня.

Предлагаемые методические рекомендации по оценке уровня устойчивого развития машиностроительных предприятий основаны на агрегировании частных показателей в систему обобщающих показателей, а затем и в

интегральный показатель, позволяющий сделать однозначный вывод об уровне устойчивого развития за исследуемый период. Использование взаимоувязанных и взаимодополняемых показателей обеспечивает достижение полноты, целенаправленности и объективности описания исследуемого объекта и обоснованной формулировки последующих выводов на базе проведения углубленного анализа и выявления резервов повышения уровня устойчивого развития.

Процесс оценки осуществляется в несколько последовательных этапов.

I этап. Определение составляющих устойчивого развития на основе выявления наиболее значимых факторов, оказывающих влияние на уровень устойчивого развития машиностроительных предприятий.

В соответствии с Основными положениями стратегии устойчивого развития России устойчивое развитие реализуется через экономическую эффективность, социальную справедливость и экологическую безопасность [4].

Предприятия машиностроительного комплекса оказывают существенное влияние на окружающую среду, являясь ее потенциальными загрязнителями (воздушного пространства, водных источников и почвы). Социальная значимость машиностроения определяется тем, что на предприятиях комплекса занят каждый четвертый работающий в промышленности [5].

Таким образом, уровень устойчивого развития предприятий машиностроения определяет минимизация вредного влияния производственной деятельности на окру-

жающую среду, повышение степени социальной защищенности персонала при условии реализации всех обязательств, принятых на себя предприятием. В связи с этим при формировании системы показателей необходимо учитывать не только экономические, но также и социальные, и экологические аспекты.

Устойчивое экономическое развитие, в свою очередь, характеризует динамика экономического роста, улучшение финансового состояния и повышение эффективности использования всей совокупности ресурсов, укрепление рыночных позиций, инновационная и инвестиционная активность.

В связи с этим необходимо выделить следующие важнейшие подсистемы экономической составляющей устойчивого развития: финансово-экономическую, рыночную, производственную и инновационно-инвестиционную. Такая классификация обеспечивает оценку уровня устойчивого развития машиностроительных предприятий с учетом всех факторов внешней и внутренней среды предприятия.

II этап. Формирование системы частных (единичных) показателей, позволяющих наиболее полно оценить влияние соответствующих факторов на уровень устойчивого развития машиностроительных предприятий.

При построении системы показателей необходимо учитывать следующие требования [6–8]:

- 1) число показателей должно быть достаточным, но, по возможности, сведенным к минимуму;
- 2) показатели должны иметь количественное выражение;
- 3) показатели должны быть синхронизированы во времени;
- 4) показатели должны иметь прозрачную природу;
- 5) показатели должны быть конкретными и однозначными в толковании полученных результатов;
- 6) основой расчета показателей должен стать имеющийся на предприятии порядок учета и отчетности;
- 7) при выборе показателей требуется системный подход, принимающий в расчет взаимодействие подсистем;
- 8) показатели должны быть экономичными: соотношение полезности показателей и затрат на их получение должно быть допустимым.

Частные показатели оценки применительно к составляющим устойчивого развития, выбранные с учетом вышеуказанных требований, представлены в табл. 1. Важно отметить, что используемые показатели отражают не только количественные, но и качественные характеристики устойчивого развития машиностроительных предприятий.

Предлагаемый подход к оценке развития объединяет в систему показатели, наиболее полно характеризующие реальное состояние предприятия, и позволяет оценить и проследить динамику устойчивого развития предприятия.

Для обеспечения целенаправленного устойчивого развития руководство предприятий должно стремиться к максимальному улучшению характеристик всех частных показателей.

III этап. Определение индексов частных показателей устойчивого развития. В качестве индексов используются цепные темпы роста показателей, характеризующие их относительное изменение по сравнению с предшествующим периодом.

Необходимо учесть, что все частные показатели делятся на две группы: увеличение значений показателей первой группы приводит к росту уровня устойчивого развития, в то время как положительные изменения значений показателей второй группы вызывают его снижение.

Индекс частного показателя из первой группы рассчитывается по формуле

$$i_{X_k} = \frac{X_{k_t}}{X_{k_{t-1}}}, \quad (1)$$

где i_{X_k} – индекс изменения k -го частного показателя, доли единицы; X_{k_t} – значение k -го частного показателя в исследуемом периоде, натуральные единицы; $X_{k_{t-1}}$ – значение k -го частного показателя в предшествующем периоде, натуральные единицы.

Индекс частного показателя из второй группы рассчитывается по формуле

$$i_{X_k} = 1 - \frac{X_{k_t} - X_{k_{t-1}}}{X_{k_{t-1}}}. \quad (2)$$

IV этап. Оценка весовых коэффициентов частных показателей и отдельных составляющих устойчивого развития. Учет значимости показателей имеет приоритетное значение в процессе обеспечения устойчивого развития машиностроительных предприятий. Значения коэффициентов весомости представляют собой количественную характеристику значимости данного показателя среди других показателей.

Для определения веса коэффициентов частных показателей и отдельных составляющих устойчивого развития можно воспользоваться различными методами, основанными на экспертных оценках (ранжирование, балльный метод, непосредственная оценка, парное сравнение, множественное сравнение и др.).

В качестве экспертов предлагается привлечь ведущих ученых-экономистов, а также специалистов-практиков высшей квалификации, входящих в состав управленцев высшего и среднего звена машиностроительных предприятий.

Оценка степени согласованности мнений экспертов осуществляется с помощью коэффициента множественной ранговой корреляции (коэффициента конкордации) по следующей формуле [9]:

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \right)^2}{n}, \quad (3)$$

где m – число групп, которые ранжируются; n – число переменных; R_{ij} – ранг i -фактора у j -единицы.

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне от 0 до 1, причем значение показателя, равное 0, свидетельствует о полной несогласованности, а 1 – об абсолютном единодушии экспертов.

Оценка неслучайности согласия мнений экспертов производится с помощью критерия согласия Пирсона. Суммарное значение всех коэффициентов равно единице.

V этап. Расчет сводных индексов, характеризующих экономическую составляющую устойчивого развития. Сводный индекс финансово-экономической составляющей

щей устойчивого развития рассчитывается по формуле средней арифметической взвешенной:

$$I_{\Phi\Omega} = \sum i_{\Phi\Omega l} a_{\Phi\Omega l} \quad (4)$$

где $I_{\Phi\Omega}$ – сводный индекс финансово-экономической составляющей устойчивого развития, доли единицы; $i_{\Phi\Omega l}$ – индекс изменения l -го частного показателя, характеризующего финансово-экономическую составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\Phi\Omega l}$ – весовой коэффициент l -го частного показателя, характеризующего финансово-экономическую составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\Phi\Omega l} < 0, \sum a_{\Phi\Omega l} = 1$.

Сводный индекс рыночной составляющей устойчивого развития рассчитывается по формуле:

$$I_p = \sum i_{pm} \cdot a_{pm}, \quad (5)$$

где I_p – сводный индекс рыночной составляющей устойчивого развития, доли единицы; i_{pm} – индекс изменения m -го частного показателя, характеризующего рыночную составляющую устойчивого развития, доли единицы; a_{pm} – весовой коэффициент m -го частного показателя, характеризующего рыночную составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{pm} < 0, \sum a_{pm} = 1$.

Сводный индекс производственной составляющей устойчивого развития рассчитывается по формуле

$$I_{\Pi} = \sum i_{\Pi n} \cdot a_{\Pi n}, \quad (6)$$

где I_{Π} – сводный индекс производственной составляющей устойчивого развития, доли единицы; $i_{\Pi n}$ – индекс изменения n -го частного показателя, характеризующего производственную составляющую устойчивого разви-

Таблица 1

Система показателей оценки уровня устойчивого развития машиностроительных предприятий

Интегральный индекс устойчивого развития	Обобщающий индекс экономической составляющей устойчивого развития	Сводный индекс финансово-экономической составляющей устойчивого развития	Коэффициент автономии
			Коэффициент обеспеченности собственными средствами
			Коэффициент текущей ликвидности
			Прибыль от реализации продукции
			Выручка от реализации продукции
			Рентабельность продаж
			Рентабельность продукции
		Сводный индекс рыночной составляющей устойчивого развития	Производительность труда
			Уровень конкурентоспособности продукции
			Доля рынка
			Коэффициент опережения темпов роста цен на готовую продукцию над темпами роста цен на материальные ресурсы
		Сводный индекс производственной составляющей устойчивого развития	Материалоемкость
			Энергоемкость
			Коэффициент трудоотдачи
			Фондоёмкость
			Фондовооруженность
			Коэффициент износа оборудования
			Коэффициент обновления оборудования
			Коэффициент загрузки производственной мощности
		Сводный индекс инновационно-инвестиционной составляющей устойчивого развития	Удельный вес инновационной продукции в общем объеме выпуска
			Удельный вес продукции, выпускаемой менее 3 лет
			Удельный вес затрат на НИОКР в общих затратах на производство продукции
			Доходность инновационной деятельности
			Удельный вес инвестиций, связанных с инновациями, в общем объеме инвестиций
			Коэффициент инновационной активности
			Инвестиции в основные фонды
			Коэффициент инвестиционной активности
	Обобщающий индекс экологической составляющей устойчивого развития		Коэффициент ресурсосбережения
		Коэффициент загрязнения окружающей среды	
		Сумма штрафов за нарушение экологических параметров	
		Сумма отчислений на экологические мероприятия	
	Обобщающий индекс социальной составляющей устойчивого развития	Отношение средней зарплаты на предприятии к средней зарплате по промышленности	
		Коэффициент текучести кадров	
		Коэффициент стабильности кадров	
		Профессиональная укомплектованность кадрами	
		Удельный вес персонала с высшим профессиональным образованием	

тия, доли единицы; $a_{\Pi n}$ – весовой коэффициент n -го частного показателя, характеризующего производственную составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\Pi n} < 0$, $\sum a_{\Pi n} = 1$.

Сводный индекс инновационно-инвестиционной составляющей устойчивого развития рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{ии}} = \sum i_{\text{ии}o} \cdot a_{\text{ии}o}, \quad (7)$$

где $I_{\text{ии}}$ – сводный индекс инновационно-инвестиционной составляющей устойчивого развития, доли единицы; $i_{\text{ии}o}$ – индекс изменения o -го частного показателя, характеризующего инновационно-инвестиционную составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\text{ии}o}$ – весовой коэффициент o -го частного показателя, характеризующего инновационно-инвестиционную составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\text{ии}o} < 0$, $\sum a_{\text{ии}o} = 1$.

VI этап. Расчет обобщающего индекса экономической составляющей устойчивого развития осуществляется по формуле:

$$I_{\text{экон}} = I_{\text{фэ}} b_{\text{фэ}} + I_{\text{р}} b_{\text{р}} + I_{\text{п}} b_{\text{п}} + I_{\text{ии}} b_{\text{ии}}, \quad (8)$$

где $I_{\text{экон}}$ – обобщающий индекс экономической составляющей устойчивого развития, доли единицы; $b_{\text{фэ}}$ – весовой коэффициент финансово-экономической составляющей устойчивого развития, доли единицы; $b_{\text{р}}$ – весовой коэффициент рыночной составляющей устойчивого развития, доли единицы; $b_{\text{п}}$ – весовой коэффициент производственной составляющей устойчивого развития, доли единицы; $b_{\text{ии}}$ – весовой коэффициент инновационно-инвестиционной составляющей устойчивого развития, доли единицы.

Фактически, значения обобщающих индексов устойчивого развития отражают средневзвешенный темп роста частных показателей по каждой составляющей.

VII этап. Расчет обобщающего индекса экологической составляющей устойчивого развития осуществляется по формуле:

$$I_{\text{экол}} = \sum i_{\text{экол}p} \cdot a_{\text{экол}p}, \quad (9)$$

где $I_{\text{экол}}$ – обобщающий индекс экологической составляющей устойчивого развития, доли единицы; $i_{\text{экол}p}$ – индекс изменения p -го частного показателя, характеризующего экологическую составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\text{экол}p}$ – весовой коэффициент p -го частного показателя, характеризующего экологическую составляющую устойчивого развития, доли единицы.

VIII этап. Расчет обобщающего индекса социальной составляющей устойчивого развития осуществляется по формуле:

$$I_{\text{с}} = \sum i_{\text{с}q} \cdot a_{\text{с}q}, \quad (10)$$

где $I_{\text{с}}$ – обобщающий индекс социальной составляющей устойчивого развития, доли единицы; $i_{\text{с}q}$ – индекс изменения q -го частного показателя, характеризующего социальную составляющую устойчивого развития, доли единицы; $a_{\text{с}q}$ – весовой коэффициент q -го частного показателя, характеризующего социальную составляющую устойчивого развития, доли единицы.

IX этап. Вычисление интегрального индекса устойчивого развития машиностроительного предприятия производится на основе объединения всех обобщающих индексов в единый показатель с использованием взвешенной средней арифметической:

$$I_{\text{ур}} = I_{\text{экон}} \cdot d_{\text{экон}} + I_{\text{экол}} \cdot d_{\text{экол}} + I_{\text{с}} \cdot d_{\text{с}}, \quad (11)$$

где $I_{\text{ур}}$ – интегральный индекс устойчивого развития, доли единицы; $d_{\text{экон}}$ – весовой коэффициент экономической составляющей устойчивого развития, доли единицы; $d_{\text{экол}}$ – весовой коэффициент экологической составляющей устойчивого развития, доли единицы; $d_{\text{с}}$ – весовой коэффициент социальной составляющей устойчивого развития, доли единицы.

X этап. Формулировка вывода об уровне устойчивого развития машиностроительного предприятия. Вывод об уровне устойчивого развития производится на основе интерпретации интегрального индекса устойчивого развития (табл. 2).

XI этап. Анализ результатов оценки уровня устойчивого развития машиностроительного предприятия. В процессе анализа определяется влияние каждого фактора и на основании этого выявляются существующие проблемы и неиспользованные резервы повышения уровня устойчивого развития.

Изучение динамики показателей за несколько периодов дает возможность определить основные тенденции устойчивого развития предприятия. На основании результатов анализа разрабатываются рекомендации для руководства предприятия, направленные на повышение уровня устойчивого развития предприятия. По результатам анализа и оценки выявляется необходимость корректировки целей, функций, принципов и методов управления устойчивым развитием предприятия.

Предлагаемая система показателей оценки позволяет осуществлять мониторинг уровней интегрального, обобщающих и сводных показателей устойчивого развития; синтезировать и анализировать значения основных факторных составляющих устойчивого развития и их влияние на общий уровень устойчивого развития машиностроительных предприятий.

Интеграция частных показателей, отражающих воздействие не только внутренних, но и внешних факторов, обеспечивает всестороннюю оценку состояния предприятия

Таблица 2

Шкала оценок интегрального индекса устойчивого развития машиностроительного предприятия

Значение интегрального индекса устойчивого развития	Оценка уровня развития предприятия
$I_{\text{ур}} < 1$	Отсутствие развития
$I_{\text{ур}} = 1$	Стагнация
$1 < I_{\text{ур}} \leq 1,05$	Слабоустойчивое развитие
$1,05 < I_{\text{ур}} \leq 1,10$	Устойчивое развитие
$1,10 < I_{\text{ур}}$	Абсолютно устойчивое развитие

и своевременную корректировку стратегии его устойчивого развития.

Библиографические ссылки

1. Броило Е. В. Управление экономической устойчивостью организаций сферы предпринимательства в условиях кризиса // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера : Вест. Науч.-исслед. центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкар. гос. ун-та / Сыктывкар. гос. ун-т [Электронный ресурс]. Сыктывкар : Изд-во СыктГУ, 2009. С. 19–42. URL: <http://koet.syktu.ru/vestnik> (дата обращения: 15.12.2010).

2. Анохин С. Н. Методика моделирования экономической устойчивости промышленных предприятий в современных условиях. Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2000.

3. Корпоративное управление инновационным развитием : монография / под ред. Ю. П. Анискина. М. : Омега-Л, 2007.

4. Основные положения стратегии устойчивого развития России / под ред. А. М. Шелехова. М., 2002.

5. Российский статистический ежегодник. 2009 : стат. сб. / Росстат. М., 2009.

6. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976.

7. Контроллинг : учебник / А. М. Карминский [и др.] ; под ред. А. М. Карминского, С. Г. Фалько. М. : Финансы и статистика, 2006.

8. Семенова Т. Ю. Формирование системы показателей устойчивого развития крупного города // Проблемы современной экономики. 2007. № 2 (22). С. 290–294.

9. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Теория вероятностей и прикладная статистика. М. : Юнити-Дана, 2001.

M. V. Pimenova

METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS ON THE ESTIMATION OF THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE MACHINE BUILDING ENTERPRISES

The article examines the stages of the integrated assessment of the level of the sustainable development of the machine building enterprises on the basis of structuring a multifactorial system of indicators and calculating an integral sustainable development indicator.

Keywords: sustainable development, integrated assessment of the level of the sustainable development, sustainable development indicators, integral sustainable development indicator; machine building enterprises.

© Пименова М. В., 2011

УДК 332.012.2

Н. А. Соколова

ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОГО РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрена теория нелинейного развития социально-экономических систем, так называемая синергетическая теория, ее методологические ориентиры, термины и положения.

Ключевые слова: социально-экономические системы, синергетика, точка бифуркации, аттрактор, фрактал, фазовая кривая.

Развитие экономики любой страны происходит на основе различных экономических доктрин и концепций, в частности, концепции жизненного цикла, концепции соотношения доходов и риска, концепции стоимости денег во времени и др. Наибольший интерес в последние годы вызывает доктрина, заключающаяся в теории нелинейного развития социально-экономических систем, так называемая синергетическая теория, основоположником которой был Г. Хакен [1].

Сам термин «синергия» (sinergia) в переводе с греческого означает совместное действие, сотрудничество,

содружество. Теоретические модели синергетики зародились в начале XX в. в недрах точных наук, химии и физики, позднее стали распространяться на другие сферы человеческой деятельности, использоваться в медицине, психологии, социологии, экономике, маркетинге и информационных технологиях.

Существует множество различных трактовок понятия «синергетический эффект», суть которых состоит в возрастании эффективности деятельности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему ($2 + 2 > 4$). Методологическими ориентирами данной эко-

номической концепции в рамках синергетического подхода являются следующие:

1. Незамкнутость экономических систем. Для того чтобы в сложных системах происходили процессы самоорганизации, они должны быть открытыми. Любые экономические структуры, а также экономическая система любого государства в целом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к открытым системам – в них постоянно циркулируют потоки денег, ресурсов, информации.

2. Неравновесность экономических процессов. Как известно, «устойчивость, доведенная до своего предела, прекращает любое развитие». Она противоречит принципу изменчивости. Чересчур стабильные формы – это тупиковые формы, эволюция которых прекращается.

3. Нелинейность экономических преобразований.

4. Системный подход, базирующийся на оценке взаимодействия элементов внутри фракталов. Термин «фрактал» имеет латинское происхождение (*fractus* – состоящий из частей, фрагментов). Фракталы – это структуры, состоящие из частей, которые в каком-то смысле подобны друг другу. Фракталы – уникальные объекты, порожденные непредсказуемыми движениями хаотического мира, их находят в таких малых местах, как клеточная мембрана, и таких огромных, как Солнечная система. Теория фракталов гласит: не надо знать все многообразие элементов, необходимо знать общие свойства целого и уметь их оценивать [2].

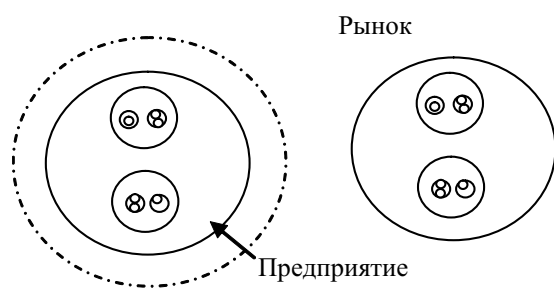


Рис. 1. Фрактал «предприятие–рынок»

Фрактал «предприятие–рынок» показан на рис. 1 большими окружностями. Фрактал разворачивается внутрь каждой из них, так что в окружности возникает еще две окружности и т. д.

Одна окружность представляет собой предприятие, вторая находится в пределах окружающего рынка. Тогда отношение между двумя большими окружностями отражает структуру отношений между предприятием и рынком. Как видно на рис. 1, внутри предприятия имеется конфигурация двух окружностей поменьше, которая подобна конфигурации всей системы «предприятие–рынок». Обнаружение внутри предприятия конфигурации определенных внутренних отношений позволяет распространить их на отношения между предприятием и рынком. То есть, чтобы понять рыночную ситуацию вокруг компании, нам иногда достаточно понять ситуацию внутри предприятия.

Фрактальный подход позволяет моделировать поведение экономических субъектов хозяйствования и разрабатывать управленческие решения. А синергетическая концепция дает эффект развития в комплексе.

Рассмотрим развитие социально-экономических систем на основе синергетической концепции на примере российской банковской сферы.

Финансовый результат деятельности кредитных организаций – один из ключевых индикаторов состояния финансовой системы. Финансовый результат российской банковской системы вышел на циклический аттрактор, предположительно соответствующий устойчивой траектории развития, примерно в первом квартале 2006 г. В течение более чем двух лет финансовый результат российской банковской системы оставался на этом аттракторе, а соскок с него произошел на рубеже 2007–2008 гг. Точка фазовой кривой, соответствующая началу 2008 г., оказалась последней точкой, находящейся на циклическом аттракторе или вблизи него (рис. 2). Анализ фазовой кривой темпов прироста квартального финансового результата российской банковской системы позволяет предположить, что с большой вероятностью бифуркация произошла именно на рубеже 2007–2008 гг.

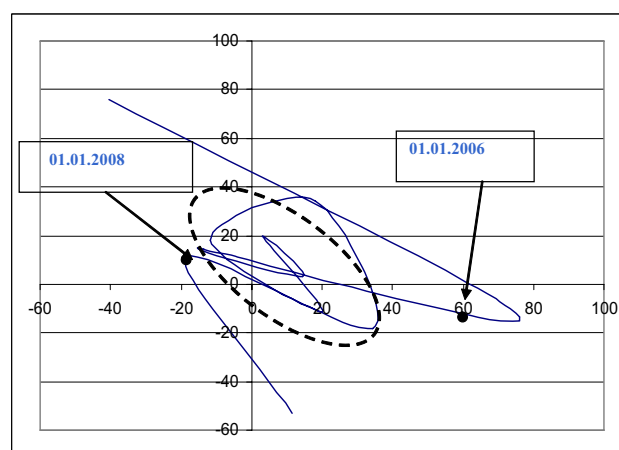


Рис. 2. Фазовая кривая темпов прироста поквартального финансового результата (на примере российской банковской системы, 01.10.2005 г. – 01.10.2008 г.): предполагаемый аттрактор обозначен пунктирной линией

Показатель объема вкладов (депозитов) физических лиц в рублях, привлеченных кредитными организациями России, является достаточно универсальным, поскольку позволяет судить как о ликвидности домохозяйств, так и об уровне доверия к экономической системе в целом со стороны населения. На построенной фазовой кривой темпов прироста объема вкладов (депозитов) физических лиц, привлеченных кредитными организациями России (рис. 3), можно увидеть искаженный предельный цикл, на котором фазовая кривая пребывает примерно до третьего квартала 2007 г. К началу четвертого квартала 2007 г. фазовая кривая уже уходит за пределы области притяжения этого аттрактора [3]. Итак, с точки зрения динамики объема вкладов (депозитов) физических лиц в рублях, привлеченных кредитными организациями России, экономический кризис начал проявляться уже во втором-третьем квартале 2007 г. По нашему мнению, период с третьего квартала 2007 г. по первый квартал 2008 г. выполнил подготовку к бифуркации, сама же бифуркация произошла примерно на рубеже второго и третьего квартала 2008 г.

Представленный пример развития социально-экономической системы наглядно показывает наличие нели-

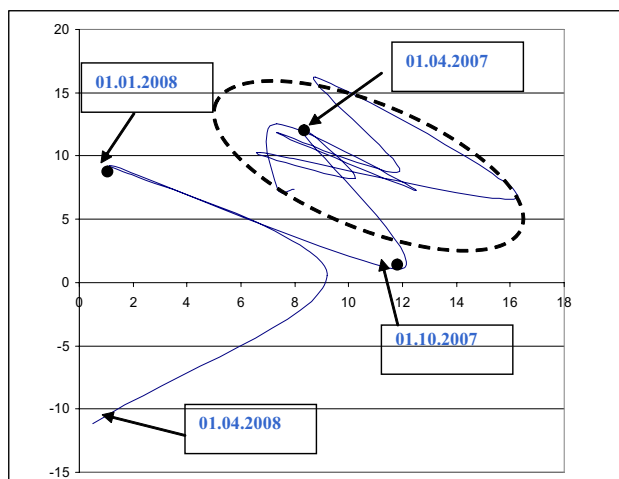


Рис. 3. Фазовая кривая темпов прироста объемов вкладов физических лиц (на примере российской банковской системы, 01.01.2005 г. – 01.12.2008 г.): предполагаемый аттрактор обозначен пунктирной линией

нейного развития, и поэтому для современного этапа развития экономики важным моментом является нахождение точек для принятия управленческих действий и использования потенциальных ресурсов с целью резкого экономического роста.

Экономический кризис России, развивающийся с 2007–2008 гг., способен сыграть положительную роль в экономическом развитии страны и способствовать ее переходу на инновационный путь развития при правильном научно обоснованном использовании ситуации.

Библиографические ссылки

1. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М., 1985. С.379.
2. Пригожин И. Р., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М. : Прогресс, 1986. С.208.
3. Мясников А. А. Финансово-экономический кризис 2008–2009 гг. в свете синергетических представлений // Вопросы экономических наук. 2009. № 3.

N. A. Sokolova

BASES OF NONLINEAR DEVELOPMENT OF SOCIAL AND ECONOMIC SYSTEMS

In article the theory of nonlinear development of social and economic systems, so-called синергетическая the theory, its methodological reference points, terms and substantive provisions is considered.

Keywords: social and economic systems, a paradigm, synergetic, a point bifurcation, attractor, a fractal, a phase curve.

© Соколова Н. А., 2011

УДК 629.78

Т. Р. Улицкая

РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

На основе изучения тенденций долгосрочного социально-экономического развития страны выявляются предпосылки реструктуризации наукоемких отраслей экономики, в частности ракетно-космической отрасли, и рассматриваются результаты ее проведения.

Ключевые слова: инновационное развитие, реформирование, реструктуризация.

Особенность перехода к инновационному социально ориентированному типу экономического развития состоит в том, что России предстоит одновременно решать задачи и догоняющего, и опережающего развития. В условиях глобальной конкуренции и открытой экономики невозможно достичь уровня развитых стран по показателям благосостояния и эффективности, не обеспечивая опережающее развитие тех секторов российской эконо-

мики, которые определяют ее специализацию в мировой системе хозяйствования и позволяют в максимальной степени реализовать национальные конкурентные преимущества.

Переход от существующей экспортно-сырьевой модели экономического роста к инновационной связан с формированием нового механизма развития и требует реализации комплекса взаимосвязанных по ресурсам,

срокам и этапам преобразований по ключевым направлениям.

Одним из таких направлений является структурная диверсификация экономики на основе инновационного технологического развития, в том числе формирование национальной инновационной системы; формирование мощного научно-технологического комплекса, обеспечивающего достижение и поддержание лидерства России в научных исследованиях и технологиях по приоритетным направлениям; создание центров глобальной компетенции в обрабатывающих отраслях; содействие повышению конкурентоспособности ведущих отраслей экономики, улучшению условий доступа российских компаний к источникам долгосрочных инвестиций, обеспечению отраслей экономики высокопрофессиональными кадрами, поддержке экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью и рациональной защите внутренних рынков с учетом международной практики в данной области.

В настоящее время высокотехнологичные секторы экономики (отрасли оборонно-промышленного комплекса, судостроение, радиоэлектронная промышленность, атомный энергопромышленный комплекс, энергетическое машиностроение, информационно-коммуникационные технологии) уже сформировались. В этих секторах Россия обладает серьезными конкурентными преимуществами или претендует на их создание в среднесрочной перспективе [1].

Так, согласно военной доктрине Российской Федерации [2] основной задачей развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК) является обеспечение его эффективного функционирования как высокотехнологичного многопрофильного сектора экономики страны, способного удовлетворить потребности Вооруженных сил РФ и других войск в современном вооружении, военной и специальной технике и обеспечить стратегическое присутствие Российской Федерации на мировых рынках высокотехнологичной продукции и услуг.

Реализация поставленной задачи подлежит осуществлению в том числе посредством совершенствования комплекса на основе создания и развития крупных научно-производственных структур; активизации инновационно-инвестиционной деятельности, позволяющей проводить качественное обновление научно-технической и производственно-технологической базы; совершенствования деятельности организаций ОПК путем внедрения организационно-экономических механизмов, обеспечивающих их эффективное функционирование и развитие; совершенствования кадрового состава и наращивания интеллектуального потенциала ОПК.

На современном этапе достаточно высоким остается научный и промышленный потенциал России в области освоения космического пространства и ракетных технологий.

Ракетно-космическая отрасль (РКО) занимает ключевое место в государственной политике России и является одним из важнейших факторов, определяющих статус страны высоких технологий. Она играет все более возрастающую роль в обеспечении национальной безопасности и обороноспособности страны, экономическом, научном и социальном развитии России. РКО – со-

ставляющая часть оборонно-промышленного потенциала России.

По данным Федерального космического агентства в состав РКО на конец 2007 г. входило 108 предприятий и организаций, в том числе: 29 (26,8 %) – промышленных предприятий, 65 (60,2 %) – научных и конструкторских (НПО, центры, НИИ, КБ) и 14 (13,0 %) – прочих организаций [3].

Из общего числа предприятий и организаций РКО 17-ти научным организациям присвоен статус ФНПЦ. Целью государственной политики в РКО является создание экономически устойчивой, конкурентоспособной, диверсифицированной отрасли, обеспечение гарантированного доступа и необходимого присутствия России в космическом пространстве. Согласно Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. объем промышленной продукции РКО увеличится в 2010 г. в 1,32 раза по сравнению с 2007 г., а в 2015 г. – в 1,8 раза [1]. Доля присутствия продукции ракетно-космической продукции на мировом космическом рынке увеличится с 8 до 15 %.

Приоритетными направлениями государственной политики в этой области являются следующие: создание космических комплексов и систем нового поколения с техническими характеристиками, обеспечивающими их высокую конкурентоспособность на мировом рынке; завершение создания и развитие системы ГЛОНАСС; развитие спутниковой группировки; расширение присутствия России на мировом космическом рынке; проведение организационных преобразований в РКО; модернизация наземной космической инфраструктуры и технологического уровня отрасли (технологическое перевооружение ракетно-космической промышленности позволит повысить производительность труда в 2,5–3,5 раза) [1].

В начале XXI в. РКО России стоит перед серьезными проблемами дальнейшего развития и реформирования. В соответствии с постановлением правительства Российской Федерации от 10.11.2000 г. № 713 «О реформировании и развитии оборонно-промышленного комплекса страны» с 2002 г. идет процесс реформирования РКО в России.

Реформирование организаций РКО направлено на создание эффективного «ядра», способного обеспечить гарантированное выполнение государственного оборонного заказа и экспортных контрактов, а также расширить внешнеэкономическую деятельность за счет увеличения экспорта наукоемкой продукции с целью сохранения и роста доли России на мировом космическом рынке [4].

Основная цель реформирования РКО, по мнению экспертов, – создание структуры отрасли, адекватной государственной оборонной политике и конъюнктуре внутреннего и мирового рынков путем эффективного решения задач концентрации инвестиционного и производственного потенциала на приоритетных направлениях развития, обеспечения оптимального государственного контроля финансово-экономической деятельности создаваемых структур, рациональной диверсификации разработок и производства высокотехнологичной, наукоемкой и конкурентоспособной продукции, а также обеспечения государственной целевой поддержки процессов реструктуризации.

На базе предприятий различных форм собственности должны быть созданы мощные интегрированные структуры, адаптированные к условиям рыночной экономики, имеющие возможность за счет собственных ресурсов быстро и эффективно решать вопросы выпуска ракетно-космической техники и конверсионной продукции [4].

В соответствии с замыслом проводимой реформы структурная перестройка РКО осуществляется по четырем ключевым направлениям.

1. Изменение структуры выпускаемой продукции. На момент начала реформирования основная сфера специализации и состав базовой продукции РКО в целом определены. Задача первого периода реформирования – повышение конкурентоспособности и доведение качества изделий до уровня передовых образцов и требований отечественного и зарубежного рынков. В то же время производство конверсионной продукции позволит предприятиям РКО завоевать различные сегменты отечественного и зарубежного рынков (8–12 % от предполагаемого объема продаж) по следующим приоритетным направлениям: оборудование для топливно-энергетического комплекса; сложная медицинская техника; оборудование для перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса и решения экологических проблем; технические средства связи и информатики; оптическое приборостроение; средства транспорта; сложная бытовая техника.

Намеченные на период до 2010 г. изменения в составе, объемах и структуре продукции РКО определяют изменения и в других направлениях таким образом, чтобы производственный и научно-технологический потенциал, структура собственности и организационно-управленческая структура РКО обеспечивали максимально эффективный выпуск новой востребованной рынком и государством продукции [4; 5].

2. Реструктуризация производственного потенциала. Основная идея структурной перестройки промышленности заключается в том, что на промышленных предприятиях отрасли должны быть сохранены производственные мощности, необходимые для выполнения в полном объеме программ создания ракетно-космической техники различного назначения, спрогнозированного объема иностранных коммерческих заказов и сохранения мобилизационных мощностей. Не задействованные по этим направлениям производственные мощности должны быть либо загружены созданием конкурентоспособной высокотехнологичной продукции в соответствии с другими федеральными программами и коммерческими проектами, либо выведены из состава отрасли – упразднены или использованы в коммерческих целях.

В результате реформирования производственная база РКО должна стать эффективной, технологически передовой, компактной, быстро настраиваемой, самоокупаемой, освобожденной от непрофильных мощностей.

3. Реструктуризация научно-технологического потенциала. В отрасли имеется множество научных и технологических школ и направлений, которые в свое время обеспечили высочайшие достижения российской космонавтики и ракетной техники, но сейчас не задействованы в выполнении обеспеченных финансированием из федерального бюджета научно-исследовательских и опытно-

конструкторских работ. При реформировании РКО Роскосмос проводит целенаправленную политику по сохранению и омоложению этих школ и направлений. Применяемые в настоящее время схемы финансирования науки не обеспечивают в должной мере сохранение кадрового научного потенциала отрасли, откуда продолжается отток наиболее квалифицированных специалистов. В связи с этим в ходе реформирования предусматривается выделение внебюджетных средств из специализированных фондов для дополнительного целевого финансирования и поддержания творческих коллективов, ученых и конструкторов, являющихся носителями передового научно-технического потенциала отрасли.

В ходе реформирования дальнейшее развитие получает схема конкурсного размещения государственных заказов среди отраслевых научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро. В результате преобразований ракетно-космическая наука должна обеспечивать опережающий научный задел на мировом уровне, быть информационно обеспеченной на мировом уровне, стать технологически оснащенной, сохранить связь с производством, пополниться молодыми инженерно-научными кадрами, стать значительно менее фондоемкой.

4. Изменение организационной и управленческой структуры РКО. Основным способом реформирования организационной структуры РКО стало создание интегрированных структур. Планом реформирования предусматривается образование «ядра» отрасли примерно из 11 интегрированных структур, объединяющих около 70 самостоятельных предприятий. На них будет сосредоточено более 90 % работ по Федеральной космической программе и государственному оборонному заказу в области ракетно-космической техники. Кроме того, в состав отраслевого «ядра» включаются несколько государственных предприятий, осуществляющих эксплуатацию и обслуживание космической техники, в том числе Федеральный космический центр «Байконур» и Центр эксплуатации объектов космической инфраструктуры [5].

Кроме крупных интегрированных структур, в состав отраслевого «ядра» входят самостоятельные средние или небольшие конструкторские и научно-исследовательские организации, успешно работающие на рынке и сохранившие научные школы. К таким организациям относятся преимущественно разработчики систем и агрегатов для ракетно-космической техники, продукция которых не носит узкой направленности, применяется на финальных изделиях разных головных разработчиков и конкурентоспособна на рынке. Самостоятельными останутся также несколько крупных серийных заводов, диверсифицированных и уже приспособившихся к условиям рынка.

Изменение формы собственности предприятий РКО имеет не самостоятельный характер, а подчиняется целям реформирования. Иными словами, форма собственности предприятия в ходе реформирования меняется лишь тогда, когда существующая форма не позволяет предприятию произвести необходимые реформы.

Основа будущей РКО – государственный сектор экономики, состоящий из унитарных предприятий на праве хозяйственного ведения, небольшого числа казенных предприятий и акционерных обществ с преобладающим

участием государства, как наиболее перспективная организационно-правовая форма участия государства как собственника в предприятии, обеспечивающая уход от неэффективной формы «хозяйственного ведения» и сохраняющая все рычаги государственного участия.

Таким образом, реструктуризация РКО России представляет собой целый комплекс взаимосвязанных и разноплановых задач, требующих решений как на уровне отдельных предприятий и организаций, так и на уровне федеральных органов исполнительной власти. Для принятия таких решений необходимо разработать научно-методологический аппарат, позволяющий анализировать как отдельные экономические объекты, подвергаемые реструктуризации, так и собственно процесс реформирования, а также отдельные мероприятия и проекты.

Библиографические ссылки

1. О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. : распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-р (в ред. от 08.08.2009 г.) // Собрание законодательства РФ. № 47. Ст. 5489.
2. О военной доктрине Российской Федерации : указ Президента РФ от 05.02.2010 г. № 146 // Собрание законодательства РФ. № 7. Ст. 724.
3. Ракетно-космическая промышленность России : информ.-справ. изд. М. : Изд. отдел ОАО «НИЦ АСК», 2007.
4. Афанасьев, М. В., Гусев Ю. Г. Реструктуризация и реформирование ракетно-космической промышленности. Королев : Изд-во ОАО «ИПК Машпробот», 2004.
5. Роскосмос / под общ. ред. А. Н. Перминова. М. : РЕСТАРТ, 2005.

T. R. Ulitskaya

RESTRUCTURING AS THE BASIS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SPACE-ROCKET BRANCH

The article reveals preconditions for restructuring of high technology branches of economy, space-rocket branch, in particular, and reviews results of its carrying out, basing on study of tendencies of long-term social-economic development of the country.

Keywords: innovation development, reforming, restructuring.

© Улицкая Т. Р., 2011

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абкьян Артур Карлосович – кандидат технических наук, доцент кафедры литейного производства и обработки металлов давлением политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1987 г. Область научных интересов – порошковая металлургия, композиционные материалы, рентгеновские методы исследования материалов. E-mail: abkaryan_artur@mail.ru.

Аверьянов Геннадий Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой авиа- и ракетостроения Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1972 г. Область научных интересов – виброзащитные устройства с управляемыми амортизаторами. Т. 8(3812)65-96-77.

Аешина Людмила Александровна – старший преподаватель кафедры иностранных языков для технических специальностей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Абаканский государственный педагогический институт в 1974 г. Область научных интересов – освоение иностранных языков в профессиональной сфере. E-mail: aeshina@mail.ru.

Алгазин Евгений Игоревич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общей электротехники Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1984 г. Область научных интересов – инвариантные системы передачи информации. E-mail: nat_gus@ngs.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 в 1970 г. Область научных интересов – материаловедение и кристаллография, дефекты решетки. Т. 8(391)213-32-86.

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.

Безбородов Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой топливобеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Московское общевойсковое командное училище в 1977 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labsm@mail.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 государственного 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 Красноярского государственного автономного учреждения «Красноярский 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: exceptme@yandex.ru.

Вайнштейн Исаак Иосифович – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Новосибирский государственный университет в 1965 г. Область научных интересов – уравнения математической физики, теория надежности, математическое моделирование. E-mail: isvain@mail.ru.

Ващенко Тамара Васильевна – старший преподаватель кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1977 г. Область научных интересов – риски предпринимательской деятельности, методы анализа и оценки рисков. E-mail: tara-v@mail.ru.

Веселков Сергей Александрович – научный сотрудник обсерватории Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1989 г. Область научных интересов – астрономическая и космическая оптика. E-mail: veselkovsa@sibsau.ru.

Воротынов Александр Михайлович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1985 г. Область научных интересов – резонансные исследования. E-mail: sasa@iph.krasn.ru.

Гордеев Юрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1976 г. Область научных интересов – конструкторско-технологическая подготовка производства изделий из композиционных материалов, модифицированных нанопорошками. E-mail: abkaryan_artur@mail.ru.

Деев Прохор Олегович – аспирант кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика

М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет в 2009 г. Область научных интересов – механика деформируемого твердого тела, механика тонкостенных конструкций. E-mail: prokhor777@gmail.com.

Евсюков Александр Анатольевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – географические информационные системы, разработка методического, алгоритмического обеспечения для информационно-аналитической поддержки управления. E-mail: alev@icm.krasn.ru.

Елисеев Дмитрий Борисович – аспирант кафедры проектирования и экспериментальной механики машин политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил политехнический институт Сибирского федерального университета в 2007 г. Область научных интересов – машиностроение. E-mail: dimasel@inbox.ru.

Емельянов Рюрик Тимофеевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой механизации и автоматизации строительства инженерно-строительного института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – гидропривод и системы управления строительных и дорожных машин. E-mail: macgasa@yandex.ru.

Ермошкин Юрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции ОАО «Информационные 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, декан финансово-экономического факультета Сибирского государственного 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 – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета заочного и дополнительного образования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цвет-

ных металлов в 1985 г. Область научных интересов – планирование и контроль, система контроллинга деятельности предприятий. E-mail: erigina@sibsau.ru.

Жариков Вадим Николаевич – инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. В. Решетнева». Окончил политехнический институт Сибирского федерального университета в 2008 г. Область научных интересов – формализация методов проектирования магистрально-модульных систем. E-mail: jharikov@iss-reshetnev.ru.

Жарков Иван Иванович – аспирант кафедры экономики транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения. Окончил Сибирский государственный университет путей сообщения в 2008 г. Область научных интересов – инструменты внутрифирменного и стратегического планирования на промышленных предприятиях, отраслях и комплексах. E-mail: zharkov@krw.rzd.

Жукова Екатерина Сергеевна – инженер студенческого центра управления полетами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – информационные технологии, защита информации. E-mail: zhykova_k@mail.ru.

Зандер Евгения Викторовна – доктор экономических наук, профессор кафедры социально-экономического планирования института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный университет в 1987 г. Область научных интересов – региональная экономика, математические методы в экономике. E-mail: ezander@yandex.ru.

Зиненко Анна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 2002 г. Область научных интересов – биржевые котировки, математическое моделирование экономических процессов. E-mail: anna-z@mail.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.

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: kkdp_admin@mail.ru.

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. и Сибирскую аэрокосмическую академию в 1999 г. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей. Т. 8-902-992-64-12.

Карцан Игорь Николаевич – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела учебного военного центра Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярское высшее командное училище радиоэлектроники в 1999 г. Область научных интересов – навигационные системы, интеллектуализация и обработка информации в Интернете. E-mail: kartsan@sibsau.ru.

Кацура Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей института гражданской авиации 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.

Киселев Олег Игоревич – заместитель директора института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технологический университет в 1994 г. Область научных интересов – цифровая обработка изображений. E-mail: okiselev@sfu-kras.ru.

Ковалева Ирина Валериевна – доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга и предпринимательской деятельности агропромышленного комплекса Алтайского государственного аграрного университета. Окончила Алтайский сельскохозяйственный институт в 1987 г. Область научных интересов – региональный рынок, теория развития, цена, конкурентоспособность, инвестиции. E-mail: irakovaleva20051@rambler.ru.

Ковалевская Ольга Валериевна – аспирант политехнического института Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – порошковая металлургия, композиционные материалы. E-mail: kov79@bk.ru.

Ковальский Болеслав Иванович – доктор технических наук, профессор института нефти и газа Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1970 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labsm@mail.ru.

Ковальский Сергей Болеславович – аспирант кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов института нефти и газа Сибирского федерального

университета. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского государственного политехнического института в 1992 г. Область научных интересов – трение и износ. E-mail: labsm@mail.ru.

Колегова Мария Михайловна – аспирант Сибирского федерального университета. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – инновационные технологии. E-mail: maria.kolegova@mail.ru.

Кондратьев Константин Александрович – инженер-программист ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – разработка и сопровождение программного обеспечения, анализ и разработка операционных систем. E-mail: atom_konstantin@mail.ru.

Коновалов Михаил Львович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерных дисциплин Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончил Калининградский технический институт в 1973 г. Область научных интересов – тепло- и массообмен, дистилляция, индукционный нагрев. E-mail: konmilv@mail.ru.

Корякова Екатерина Александровна – студент кафедры социально-экономического планирования института экономики, управления и природопользования Сибирского федерального университета. Область научных интересов – экономика, региональное развитие, инфраструктура. E-mail: katrin11@yandex.ru.

Кочура Елена Васильевна – инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – проектирование бортового программного обеспечения космических аппаратов. E-mail: Kochura-iss@mail.ru.

Краева Екатерина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – насосные агрегаты подачи малорасходных систем ракетноносителей. E-mail: kat-belka@yandex.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.

Лавренов Владимир Алексеевич – доцент кафедры эксплуатации авиационной техники Сибирского государ-

ственного 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.

Лапухин Евгений Геннадьевич – инженер обсерватории Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1992 г. Область научных интересов – астрономия, астрономическая оптика. E-mail: slovoktk@mail.ru.

Латышенко Галина Ивановна – доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Иркутский политехнический институт в 1982 г. Область научных интересов – разработка программ социально-экономического развития региона; организация и планирование наукоемких производств. E-mail: latyshenko59@mail.ru.

Лейнартас Денис Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1998 г. Область научных интересов – теория функций комплексных переменных. E-mail: lein@mail.ru.

Литвинов Павел Сергеевич – старший преподаватель кафедры математического обеспечения дискретных устройств и систем института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университет в 1990 г. Область научных интересов – уравнения математической физики, математическое моделирование. E-mail: litvinov.68@mail.ru.

Литошник Сергей Владимирович – начальник учебного военного центра Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Киевское высшее авиационно-инженерное училище в 1993 г. Область научных интересов – навигационные системы, интеллектуализация и обработка информации в Интернете. Т. 8-923-276-28-24.

Лопатин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1979 г. Область научных интересов – механика твердого деформируемого тела. E-mail: lopatin@mail.ru.

Лопатина Марина Александровна – аспирант кафедры физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2001 г. Область научных интересов – исследование фазовых переходов, электрических и магнитных свойств. E-mail: lopatina@sibsau.ru.

Любимцев Александр Владимирович – аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмичес-

кий университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – исследования в области технической эксплуатации и повышения безопасности авиационной техники. Т. 8(391)268-76-21.

Максимов Станислав Анатольевич – ведущий экономист ОАО «Красноярский машиностроительный завод». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – экономические науки. E-mail: sa_maksimov@mail.ru.

Малинкин Виталий Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры многоканальной электрической связи и оптических систем Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1975 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. E-mail: mvb@neic.nsk.su.

Малинкин Евгений Витальевич – инженер-исследователь Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики в 2005 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация. Т. 8-905-827-30-73.

Малышева Наталья Николаевна – старший преподаватель 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 топливобеспечения 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.

Масич Игорь Сергеевич – кандидат физико-математических наук, докторант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – системный анализ, комбинаторная оптимизация, анализ данных. E-mail: i-masich@eandex.ru.

Мизрах Енис Аврумович – кандидат технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – энергетические системы космических аппаратов. Т. 8(391)297-87-29.

Михайличенко Алексей Геннадьевич – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – астрономическая оптика, исследование Земли аэрокосмическими методами. E-mail: alexemilana@mail.ru.

Назаров Артем Сергеевич – курсант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Область научных интересов – беспроводные системы передачи информации в сетях авиационной электросвя-

зи, моделирование процессов управления воздушным движением. E-mail: artemgip@mail.ru.

Назаров Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации. Окончил Военную академию связи имени С. М. Буденного в 1997 г. Область научных интересов – моделирование и разработка методов реализации ресурсов ретрансляционных узлов в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: art3456@rambler.ru.

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.

Никушкин Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструкции летательных аппаратов и двигателей института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1983 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация воздушных судов, механика разрушений, разработка летательных аппаратов нетрадиционных схем. Т. (391)233-00-10.

Осипов Владимир Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 1997 г. Область научных интересов – теория автоматического управления, математическое моделирование динамических объектов и систем. E-mail: vv-osipov@ya.ru.

Парфенова Светлана Леонидовна – доцент кафедры международного кадрового и проектного управления международной высшей школы Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 1995 г. Область научных интересов – форсайт-технологии, устойчивое развитие комплексов, управление проектами. E-mail: parfyonova.s.l@yandex.ru.

Пименова Марина Владимировна – доцент кафедры международного кадрового и проектного управления международной высшей школы инновационного бизнеса и администрирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – устойчивое развитие машиностроительных предприятий. E-mail: pimenovamarina@yandex.ru.

Пичкалев Александр Валерьевич – начальник группы ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ленинградский механический институт имени маршала Д. Ф. Устинова в 1991 г. Область научных интересов – измеритель-

ные системы и автоматизация испытаний. E-mail: al-mail@iss-reshetnev.ru.

Пономарев Виктор Сергеевич – аспирант кафедры системного анализа 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 – информационные технологии. E-mail: vite_5@front.ru.

Прокопьев Андрей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и автоматизации строительства инженерно-строительного института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1984 г. Область научных интересов – гидропривод и системы управления строительных и дорожных машин. E-mail: macgasa@yandex.ru.

Прудков Виктор Викторович – аспирант кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – информационные технологии, обработка информации. E-mail: differsin@mail.ru.

Пятаков Анатолий Иванович – кандидат технических наук, главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Окончил Военную академию связи имени С. М. Буденного в 1985 г. Область научных интересов – организация и построение систем передачи дискретных сообщений. Т. 8-917-623-23-34.

Радченко Станислав Григорьевич – доктор технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Киевского политехнического института Национального технического университета Украины. Окончил Киевский политехнический институт в 1962 г. Область научных интересов – высокие технологии проведения наукоемких исследований, теория планирования эксперимента, многокритериальная оптимизация и многофакторное математическое моделирование сложных систем, эвристические методы поиска новых технических решений. E-mail: lapach@ur.net.

Раева Олеся Владимировна – старший преподаватель кафедры теплотехники и техносферной безопасности горного и металлургического производства института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 2002 г. Область научных интересов – теплофизика и электрохимия. E-mail: O. V. Raeva@mail.ru.

Розанов Олег Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1971 г. Область научных интересов – физика фазовых переходов. E-mail: rozanj@yandex.ru.

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 на-

учных интересов – полупроводники, магнитосопротивление, переход металл–диэлектрик, электросопротивление. E-mail: rob@mail.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.

Соколова Нина Александровна – аспирант кафедры экономики, управления инвестициями Южно-Уральского государственного университета. Окончила Южно-Уральский государственный университет в 2008 г. Область научных интересов – экономика, инвестиции, аутсорсинг в промышленности. E-mail: sokolova.nina@bk.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 в 1973 г. Область научных интересов – термическая обработка цветных и черных металлов. Т. 8(391)213-32-86.

Татевосян Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрической техники Омского государственного технического университета. Окончил Омский государственный технический университет в 1998 г. Область научных интересов – моделирование электромагнитного привода. Т. 8(3812)65-96-77.

Ткачев Степан Борисович – инженер кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – преобразовательная техника, силовая электроника. Т. 8-908-201-1075.

Толстомятова Марина Вячеславовна – магистрант кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов в 1988 г. Область научных интересов – совершенствование организационной структуры предприятия. E-mail: 641331@mail.ru.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-вуз – 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.

Турьшева Евгения Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации и автоматизации строительства инженерно-строительного института Сибирского федерального университета. Окончила Томский политехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – гидропривод и системы управления строительных и дорожных машин. E-mail: macgasa@eandex.ru.

Улицкая Татьяна Романовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, начальник бюро стратегического и экономического планирования ОАО «Красноярский машиностроительный завод». Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – экономика, управление предприятиями оборонно-промышленного комплекса. Т. 250-51-45.

Урусов Владимир Михайлович – инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – проектирование систем коррекции космических аппаратов. Т. (391-97)6-48-24.

Утенков Петр Геннадьевич – бортмеханик авиакомпании «Скол». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей. Т. 8-902-922-27-61.

Фадеев Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 2000 г. Область научных интересов – электротехнологии. E-mail: fadееv.77@mail.ru.

Фейлер Олег Владимирович – ведущий инженер отдела автоматизированных информационных измерительных систем ОАО «Красноярскэнергосбыт». Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1999 г. Область научных интересов – электротехнологии. E-mail: ofey@es.krasnoyarsk.ru.

Фильков Михаил Николаевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией теплоэнергетики и использования газа в сельском хозяйстве Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства. Окончил Казахский политехнический институт имени В. И. Ленина в 1971 г. Область научных интересов – синтез тугоплавких соединений металлов, нанотехнологии в машиностроении и нетрадиционная энергетика. E-mail: filkov48@yandex.ru.

Фомин Данила Алексеевич – студент Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – астрономическая оптика, исследование Земли аэрокосмическими методами. E-mail: malul91@mail.ru.

Хамитов Рустам Нуриманович – кандидат технических наук, доцент кафедры авиа- и ракетостроения Омского государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт в 1984 г. Область научных интересов – виброзащитные устройства с управляемыми амортизаторами. E-mail: apple_27@mail.ru.

Чирков Павел Рудольфович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей института гражданской авиа-

ции Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1995 г. Область научных интересов – разработка летательных аппаратов нетрадиционных схем. E-mail: paluch@aport.ru.

Шабанова Ольга Вильгельмовна – инженер-технолог специального конструкторско-технологического бюро «Наука» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 1995 г. Область научных интересов – материаловедение, химия кремнезема. E-mail: OllaCh@yandex.ru.

Шагарова Анна Александровна – преподаватель кафедры общих профессиональных дисциплин Ульяновского государственного технического университета. Окончила Ульяновскую государственную сельскохозяйственную академию в 2004 г. Область научных интересов – разработка и моделирование алгоритма разнесенного приема в гибридных сетях беспроводной передачи информации. E-mail: nutka82@list.ru.

Шестаков Иван Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехническо-

го института в 1975 г. Область научных интересов – электротехнологии. Т. 8(391)262-27-80.

Шилко Илья Игоревич – инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – информационные технологии, обработка информации. E-mail: ila545@mail.ru.

Шумаков Николай Николаевич – начальник сектора программирования ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Новосибирский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – проектирование и разработка встроенного программного обеспечения систем управления. Т. 8(391)976-44-80.

Энгель Екатерина Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и систем Хакасского государственного университета имени Н. Ф. Катанова, докторант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова. Область научных интересов – нейроинформатика, нечеткая логика. E-mail: angel@khsu.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА	3
Аплеснин С. С., Воротынов А. М., Романова О. Б., Лопатина М. А. Обнаружение орбитального упорядочения методом электронного парамагнитного резонанса в магнитных полупроводниках	4
Вавилов Д. В., Колегова М. М., Иптышев А. А., Елисеев Д. Б. Исследование кинематических характеристик цилиндрических прямозубых передач, формообразуемых накатыванием средствами САПР	7
Вайнштейн И. И., Литвинов П. С. Математическая модель несущего слоя газожидкостного подшипника скольжения	10
Евсюков А. А. Динамическое формирование картографических слоев в информационно-аналитических системах	15
Емельянов Р. Т., Прокопьев А. П., Турьшева Е. С., Постоев П. А. Реализация нейросетевого контроллера для управления организационно-технологическим комплексом	20
Казьмин Б. Н., Трифанов И. В. Об электронном генераторе электроэнергии	25
Карасева М. В. Модификация синтеза структуры распределенной системы поддержки принятия решений на основе тезауруса	28
Кашкин В. Б., Киселев О. И. Быстрая обработка аэрокосмических изображений, использующая минимальные кубатурные формулы	31
Кондратьев К. А., Шумаков Н. Н. Управление динамической памятью в бортовом программном обеспечении спутников связи и навигации	35
Коновалов М. Л., Розанов О. В. Эффективность вакуумной дистилляции в токе водяного пара	39
Лейнартас Д. Е. Об устойчивости цифровых рекурсивных фильтров	42
Лопатин А. В., Деев П. О. Определение основной частоты колебаний прямоугольной трехслойной пластины с двумя свободными краями	46
Малинкин В. Б., Алгазин Е. И., Малинкин А. В. Инвариантная многоволновая волоконно-оптическая система передачи	50
Назаров С. Н., Шагарова А. А., Пятаков А. И., Назаров А. С. Шумоподобные сигналы при дистанционном управлении радиостанцией по каналам дальней связи	53
Осипов В. В. О связи точечных представлений функций и их изображений по Лапласу	56
Прудков В. В. Процедуры автоматизации процесса верификации подсистем блока управления перспективных космических аппаратов	62
Радченко С. Г. Инвариантно-групповой подход в теории планирования эксперимента	65
Ткачев С. Б., Мизрах Е. А. Повышение качества имитаторов солнечных батарей с двухкаскадным регулирующим элементом	70
Фадеев А. А., Шестаков И. Я. О возможном механизме нагрева воды и водных растворов при воздействии переменного электромагнитного поля	76
Шабанова О. В., Крылов А. С. Исследование методом лазерной спектроскопии комбинационного рассеяния света молекулярных процессов в синтезе силикатных коллоидных систем	79
Энгель Е. А. Иерархические модели принятия решений на базе нечетких нейронных сетей для обработки информации	83
РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА	87
Веселков С. А., Лапухин Е. Г., Михайличенко А. Г., Фомин Д. А., Баженов П. А. Перспективные телескопы для проекта загородной астрономической обсерватории Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева	88
Ермошкин Ю. М., Урусов В. М. Критерии оптимальности размещения двигателей коррекции орбиты на геостационарном космическом аппарате	92
Карцан И. Н., Пономарев В. С., Жукова Е. С., Литошик С. В. Астрономические источники первичной навигационной информации для автономного определения движения объектов	96
Кацура А. В., Лавренев В. А., Рябин А. А. Применение методов неразрушающего контроля для выявления коррозионных поражений элементов конструкций летательных аппаратов	101
Кочура Е. В. Разработка макропрограмм интегрального управления космическими аппаратами	105
Краева Е. М., Масич И. С. Вихревые структуры турбулентных потоков и их моделирование	107
Любимцев А. В. Анализ безопасности гидравлической системы самолета Ту-154М по результатам выделения предвестников аварии	111
Никушкин Н. В., Чирков П. Р., Кацура А. В., Аешина Л. А. Динамическая устойчивость адаптивной панели крыла экраноплана	116

Утенков П. Г. Разработка методики статистического анализа безопасности выполнения полетов экипажем самолета Ан-24	121
Шилко И. И. Организация учета светового давления на поверхность космического аппарата	123
РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ	127
Гордеев Ю. И., Абкарян А. К., Ковалевская О. В. Перспективные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, матрично-наполненные сверхтонкими порошками оксида алюминия	128
Жариков В. Н., Пичкалев А. В. Новые технологии для испытательного оборудования	132
Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н., Ковальский С. Б., Мальцева Е. Г., Мальшева Н. Н. Влияние электрического потенциала на механохимические процессы при граничном трении скольжения	135
Крушенко Г. Г., Фильков М. Н. Технология получения алюминиевого композита с повышенным содержанием упрочняющих нанопорошков	139
Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г., Таскин В. Ю., Аникина В. И. Исследование процессов регулирования эксплуатационных свойств керамических материалов	142
Раева О. В., Шестаков И. Я., Фейлер О. В. О механизме электрохимической очистки сточных вод переменным током	147
Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С., Татевосян А. А. Электромеханическое демпфирование в системах амортизации крупногабаритных объектов	150
РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА	155
Батукова Л. Р. Проблема модернизации управления средних многопрофильных предприятий корпоративного типа	156
Бойко А. А., Толстомятова М. В. Инструменты совершенствования структуры управления предприятием	160
Вашенко Т. В., Зиненко А. В. Структура ставки дисконтирования с позиций рискованного подхода	165
Ерыгин Ю. В., Ерыгина Л. В., Максимов С. А. Сбалансированная система показателей – инструмент контроллинга инновационного развития предприятий ракетно-космической промышленности	167
Жарков И. И. Инструменты оценки системы стратегического планирования на промышленном предприятии	170
Зандер Е. В., Корякова Е. А. Развитие транспортной инфраструктуры как необходимое условие социально-экономического развития региона	173
Ковалева И. В. К вопросу теории функционирования регионального рынка продукции и услуг	178
Латышенко Г. И. Основные направления развития Кежемского района на базе создания малых и средних предприятий	181
Парфенова С. Л. Оценка устойчивого развития машиностроительного комплекса Красноярского края	187
Пименова М. В. Методические рекомендации по оценке уровня устойчивого развития машиностроительных предприятий	192
Соколова Н. А. Основы нелинейного развития социально-экономических систем	196
Улицкая Т. Р. Реструктуризация как основа инновационного развития ракетно-космической отрасли	198
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	202

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS	3
Aplesnin S. S., Vorotynov A. M., Romanova O. B., Lopatina M. A. Orbital ordering probed by electron-spin resonance method in magnetic semiconductors	4
Vavilov D. V., Kolegova M. M., Iptyshev A. A., Eliseev D. B. Research of rolled spur gears kinematic characteristics by using computer-aided software	7
Wainshtein I. I., Litvinov P. S. Mathematical model of a bearing layer of the gas-liquid bearing of sliding	10
Evsyukov A. A. Dynamic cartographic layers generation in informational analytical systems	15
Emelyanov R. T., Prokopiev A. P., Turisheva E. S., Postoev P. A. Implementation of neural network controller for managing organizational and technological complex	20
Kazmin B. N., Trifanov I. V. About electronic generator of electric power	25
Karaseva M. V. Synthesis modification of the distributed system of decision support on the thesaurus basis	28
Kashkin V. B., Kiselev O. I. Fast processing of aerospace images using minimal cubature formulas	31
Kondratev C. A., Shumakov N. N. Dynamic memory control in navigation and communication satellites on-board software	35
Kononov M. L., Rozanov O. V. The effectiveness of vacuum distillation in a stream of vapor	39
Leynartas D. E. On stability of digital recursive filters	42
Lopatin A. V., Deev P. O. Determination of the fundamental frequency for rectangular sandwich plate with two free edges	46
Malinkin V. B., Algazin E. I., Malinkin A. V. Invariant multicomponent fiber optic transmission system	50
Nazarov S. N., Shagarova A. A., Pyatakov A. I., Nazarov A. S. Noise-like signals at remote control by radio station on long-distance communication channels	53
Osipov V. V. About connection of point representations of functions and their Laplace transforms	56
Prudkov V. V. Procedures of automation of process of verification of subsystems block of management of space vehicles	62
Radchenko S. G. Invariant group approach in the experiment design theory	65
Tkachev S. B., Mizrakh E. A. Upgrading of photovoltaic array simulator with two-circuit control element	70
Fadeev A. A., Chestakov I. Ya. About possible mechanism of heating of water and water solutions under the influence of variable electromagnetic field	76
Shabanova O. V., Krylov A. S. Research of molecular processes in synthesis of silicate colloidal systems by method of raman spectroscopy	79
Engel E. A. Hierarchical model of decision-making based on fuzzy neural networks for information processing	83
PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING	87
Veselkov S. A., Lapukhin E. G., Mihailichenko A. G., Fomin D. A., Bagenov P. A. Prospective telescopes for suburban astronomical observatory of Siberian state aerospace university named after academician M. F. Reshetnev	88
Yermoshkin Yu. M., Urusov V. M. Criteria of orbital control thruster optimal allocation on board of geostationary spacecraft	92
Kartsan I. N., Ponomarev V. S., Zhukova E. S., Litoshik S. V. Astronomical sources of primary navigation information for autonomous definition of the object motion	96
Katsura A. V., Lavrenov V. A., Ryabin A. A. Usage of NDT (nondestructive test) methods for diagnostics of corrosion damage of airframe structure	101
Kochura E. V. Macro programs engineering of integrated control by space vehicles	105
Kraeva E. M., Masich I. S. Vortex structure of turbulent flows and their simulation	107
Lyuibimtsev A. V. Security analysis of airplane Tu-154M hydraulic system as a result of detection of accident messengers	111
Nikushkin N. V., Chirkov P. R., Katsura A. V., Aeshina L. A. Dynamic stability of an adaptive wing panel of a wig-boat	116
Utenkov P. G. Development of technique for statistical analysis of security during performance of flights by plane An-24 crew	121
Shilko I. I. The organization of the light pressure on the satellite surface account	123

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS	127
Gordeev Y. I., Abkaryan A. K., Kovalevskaya O. V. Prospective composite materials based on ultra high molecular weight polyethylene modified with ultrafine powders of aluminum oxide	128
Jarikov V. N., Pichkalev A. V. New technologies for the test equipment	132
Kovalsky B. I., Bezborodov Yu. N., Kovalsky S. B., Maltseva E. G., Malysheva N. N. Influence of electric potential on mechano-chemical processes at the boundary sliding friction	135
Krushenko G. G., Filkov M. N. Technology of production of aluminum composite with high concentration of reinforce nanopowders	139
Nikiforova E. M., Eromasov R. G., Taskin V. Yu., Anikina V. I. Study of processes of regulating of operational properties of ceramic materials	142
Raeva O. V., Shestakov I. Ya., Feiler O. V. On mechanism of discharged waters electrochemical cleaning with alternating current	147
Khamitov R. N., Averjanov G. S., Tatevosjan A. A. Electromechanical damping in vibration protection systems of large-size objects	150
PART 4. ECONOMICS	155
Batukova L. R. A problem of modernization management of the average versatile enterprises of corporate type	156
Boiko A. A., Tolstopyatova M. V. Tools for perfection of business management structure	160
Vashenko T. V., Zinenko A. V. Structure of discount rate in terms of risk approach	165
Erygin Yu. V., Erygina L. V., Maksimov S. A. Balanced scorecard as controlling tool of innovative development at the space-rocket industry enterprises	167
Zharkov I. I. Tools for estimation of strategic planning system at industrial enterprise	170
Zander E. V., Koryakova E. A. Development of transport infrastructure as necessary condition for social and economic development of a region	173
Kovaleva I. V. To the question of theory of region market of products and service functioning	178
Latyshenko G. I. The basic directions of development of Kezhemsky area on the basis of creation of the small and average enterprises	181
Parfenova S. L. Assessment of stable development of machine-building complex of the Krasnoyarsk region	187
Pimenova M. V. Methodological recommendations on the estimation of the sustainable development of the machine building enterprises	192
Sokolova N. A. Bases of nonlinear development of social and economic systems	196
Ulitskaya T. R. Restructuring as the basis of innovative development of space-rocket branch	198
THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS	202

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 внутристрочные 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: