

УДК 004.942:519.718

## УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ МОНИТОРИНГА МОРАЛЬНОГО СТАРЕНИЯ

**Шестопалова О.Л.**

*Филиал «Восход», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)», Байконур, e-mail: mironov-anik@yandex.ru*

В статье рассмотрены вопросы исследования способов управления развитием информационных систем с учетом результатов мониторинга морального старения третьего рода, основанного на контроле степени деградации ресурсной отказоустойчивости модулей информационных систем вследствие старения элементной базы, прекращения выпуска запасных элементов и утративания ремонтных технологий. Рассмотрены пути поиска предпочтительных вариантов решений по компенсированию морального старения оборудования информационных систем, связанного с деградацией ресурсной отказоустойчивости. Произведена классификация методов компенсации морального старения третьего рода. Описан подход к выбору предпочтительного метода компенсации морального старения оборудования информационных систем на основе ранжирования оценок показателей технико-экономической эффективности применения выделенных методов. Материалы статьи могут быть полезны при обосновании программ развития аппаратного обеспечения корпоративных информационных систем ведомственного и регионального значения.

**Ключевые слова:** информационные системы, моральное старение, деградация ресурсной отказоустойчивости, методы развития информационных систем, технико-экономическая эффективность

## INFORMATION SYSTEMS DEVELOPMENT MANAGEMENT INCLUDING MONITORING OF OBSOLESCENCE

**Shestopalova O.L.**

*A Branch «Voskhod» of the Moscow Aviation Institute (National Research University),  
Baikonur, e-mail: mironov-anik@yandex.ru*

The article considers the issues of research control methods for the development of information systems. The development is based on the results of the monitoring of obsolescence of the third kind. Obsolescence of the third kind is due to the degradation of the resource fault-tolerance of information system modules, the reasons of the resource fault-tolerance are: aging of the circuitry, the termination of production of spare elements, the loss of repair technologies. Considered solutions of compensating the degradation of the resource fault-tolerance. Classification of methods of payment of the obsolescence of the third kind made. A method of selecting a preferred solution for the compensation of obsolescence described in the article. The method is based on the ranking of the techno-economic assessments. The article can be useful to justify programs of development of enterprise information systems in enterprises and regions.

**Keywords:** information system, obsolescence, degradation of the resource fault-tolerance, methods of information systems development, technical and economic efficiency

Темпы практического внедрения современных достижений научно-технического прогресса в области развития информационных технологий в настоящее время сравнимы или опережают замену масштабных отраслевых и (или) корпоративных информационных систем (ИС) на более современные аналоги [1, 2, 4, 6, 8–10]. Ввиду этого ускоряются процессы морального старения (МС) ИС, которое в настоящее время практически всегда предшествует физическому старению ИС.

Сложившаяся ситуация обуславливает актуальность вопросов учета фактора МС при решении задачи управления развитием ИС. В настоящее время различают экономическое, функциональное и ресурсное МС ИС [9, 10].

Последний вид морального старения (его иногда называют моральным старением 3-го рода) применительно к классу

прикладных распределенных ИС впервые рассмотрен О.Л. Шестопаловой в работе [9] как «деградация ресурсной отказоустойчивости» ИС. Данный вид МС обусловлен «моральным устареванием элементной базы ИС и деградацией ремонтных технологий, при этом возрастает вероятность перехода ИС в предельное состояние, связанное с невозможностью дальнейшей эксплуатации ИС в связи с появлением неустраняемых отказов ее составных частей» [9].

**Цель исследования.** В данной статье рассматриваются вопросы поиска предпочтительных путей компенсации МС оборудования ИС, связанного с деградацией ресурсной отказоустойчивости (ДРОУ), а именно – выработка решений по снижению возможности возникновения неустраняемых отказов оборудования ИС, т.е. обоснование способов компенсации деградации ресурсной отказоустойчивости

информационных систем. При этом необходимо провести классификацию методов компенсации ДРОУ ИС, а также получить аналитические выражения для расчета и ранжирования оценок показателей технико-экономической эффективности применения различных методов компенсации деградации ресурсной отказоустойчивости.

### Материалы и методы исследования

Рассмотрим ИС как восстанавливаемую систему с ограничениями на возможность восстановления работоспособности ее элементов при их отказах.

Предположим, что в состав ИС входят  $m$  различных модулей, каждый из которых содержит  $l_k$ ,  $k = 1, m$  элементов, надежность функционирования которых характеризуется вектором

$$P_{(l_k)} = \langle p_{1k}, p_{2k}, \dots, p_{ik}, \dots, p_{l_k k} \rangle,$$

где  $p_{ik}$ ,  $i = 1, l_k$ ,  $k = 1, m$  – значения вероятностей безотказной работы (ВБР) элементов модулей ИС.

Пусть задан вектор  $r_{(v_k)} = \langle r_{1k}, r_{2k}, \dots, r_{ik}, \dots, r_{v_k k} \rangle$  вероятностей нормального функционирования (ВНФ) элементов подсистемы восстановления технического ресурса (ПВТР), задействованных при восстановлении работоспособности  $k$ -го модуля ИС,  $k = 1, m$ . Данные элементы являются внешними по отношению к структуре ИС, однако необходимы для исследования запаса ресурсной отказоустойчивости ИС.

Будем рассматривать четыре типа элементов ПВТР ИС с вероятностями:  $r_{1k}(t)$ ,  $r_{2k}(t)$ ,  $r_{3k}(t)$ ,  $r_{4k}(t)$ ,  $k = 1, m$ :

- элементы типа 1 – характеризующие текущую возможность неисчерпания ЗИП модулей ИС;
- элементы типа 2 – характеризующие текущую возможность пополнения ЗИП модулей ИС;
- элементы типа 3 – характеризующие текущую степень наличия специалистов по ремонту модулей ИС;
- элементы типа 4 – характеризующие текущую степень наличия доступных технологий ремонта модулей ИС.

Как показано в работах [2, 5, 7], вероятность недостижения предельного состояния (ВНПС) ИС определяется как

$$P(t) = \prod_{k=1}^m \psi_k(p_{(l_k)}, r_{(v_k)}, t). \quad (1)$$

Из (1) можно видеть, что противодействие проявлению ДРОУ ИС зависит от степени надежности оборудования ИС, фактического запаса ЗИП, возможностей восполнения ЗИП, наличия специалистов по ремонту оборудования ИС и технологий ремонта.

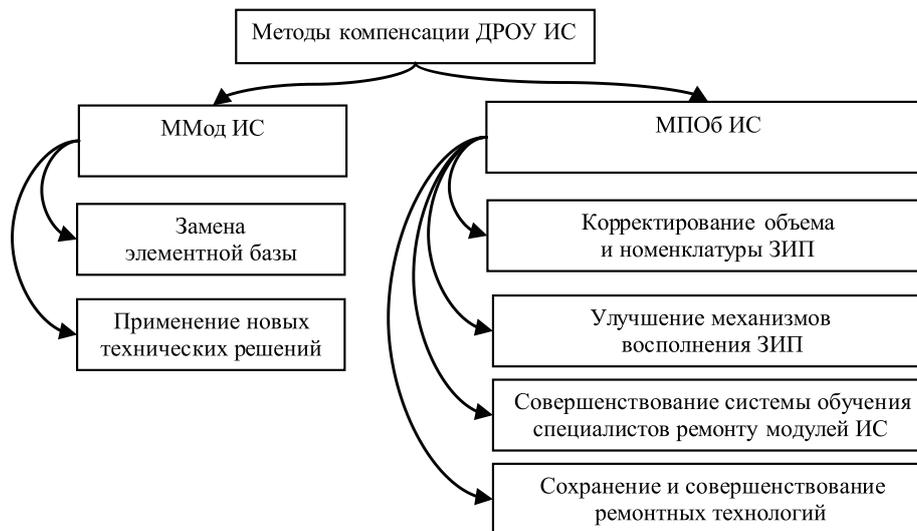
Следовательно, можно классифицировать методы компенсации ДРОУ ИС на группы и виды следующим образом (рисунок). Все методы компенсации ДРОУ ИС разделим на методы модернизации оборудования (ММод) ИС и методы повышения обеспеченности эксплуатационных процессов (МПОб) ИС. ММод ИС предполагают либо замену элементной базы ИС на более современную, либо применение новых технических решений, либо и то, и другое [10]. МПОб включают методы: уточнения (корректирования) объема и номенклатуры ЗИП; улучшения механизмов восполнения ЗИП; совершенствования системы обучения специалистов ремонту модулей ИС; сохранение и совершенствование ремонтных технологий.

### Результаты исследования и их обсуждение

Выбор предпочтительного метода из перечисленного выше перечня будем осуществлять, опираясь на результаты анализа их технико-экономической эффективности (ТЭЭ) [3].

Пусть установлено, что в результате модернизации  $i$ -го модуля ИС его ВБР на интервале  $\Delta t$  возрастает на величину  $\Delta p_{1i}$ . Оценка затрат на модернизацию равна  $\Delta c_{1i}^p$ . Приращение ВНПС ИС при данной модернизации составит

$$\Delta P^{(p_{1i})} = K_{p_{1i}}^{\text{зн}} \cdot \Delta p_{1i} = \frac{\partial P}{\partial p_{1i}} \cdot \Delta p_{1i}. \quad (2)$$



Классификация методов компенсации ДРОУ ИС

Тогда показатель ТЭЭ модернизации  $i$ -го модуля ИС можно оценить как

$$\begin{aligned} \omega_{p_{1k}}^{\text{мод}} &= \frac{\Delta P^{(p_{1k})}}{\Delta c_{1k}^p} = \\ &= \frac{K_{p_{1k}}^{\text{зн}} \cdot \Delta p_{1k}}{\Delta c_{1k}^p} = \frac{\frac{\partial P}{\partial p_{1k}} \cdot \Delta p_{1k}}{\Delta c_{1k}^p} = \\ &= \frac{[P_{p_{1k}}^{\langle 1 \rangle}(t) - P_{p_{1k}}^{\langle 0 \rangle}(t)] \cdot \Delta p_{1k}}{\Delta c_{1k}^p}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $P_{p_{1i}}^{\langle 1 \rangle}(t)$  – значение ВНПС ИС, рассчитанное при единичных значениях вероятностей  $p_{1i}$ , а  $P_{p_{1i}}^{\langle 0 \rangle}(t)$  – соответствующая оценка ВНПС ИС при нулевых значениях вероятностей  $p_{1i}$ .

Введем в рассмотрение подмножество индексов  $\Omega_{\{m\}}^p$  для элементов  $p_{1i}$ ,  $i = \overline{1, m}$  и подмножество индексов  $\Omega_{\{m\}}^r$  для элементов  $r_{jk}$ ,  $j = \overline{1, 4}$ ,  $k = \overline{1, n}$ ,  $n = m \times 4$ . Тогда значение показателя ТЭЭ модернизации ИС можно рассчитать как

$$\begin{aligned} W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}} &= \frac{\sum_{k \in \Omega_{\{m\}}^p} K_k^{\text{вкл}}}{\sum_{k \in \Omega_{\{m\}}^p} \Delta c_{1k}^p} = \\ &= \frac{\sum_{k \in \Omega_{\{m\}}^p} [P_{p_{1k}}^{\langle 1 \rangle}(t) - P_{p_{1k}}^{\langle 0 \rangle}(t)] \cdot \Delta p_{1k}}{\sum_{k \in \Omega_{\{m\}}^p} \Delta c_{1k}^p}. \end{aligned} \quad (4)$$

Оценки ТЭЭ модернизации ИС вида (3) и (4) являются абсолютными. Для получения относительных оценок введем нормирование:

$$\begin{aligned} v_{p_{1k}}^{\text{мод}} &= \frac{\omega_{p_{1k}}^{\text{мод}}}{\Delta P_{\text{max}}} = \frac{\omega_{p_{1k}}^{\text{мод}}}{1 - \gamma}; \\ v_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}} &= \frac{W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}}{\Delta P_{\text{max}}} = \frac{W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}}{1 - \gamma}. \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим способ модернизации, связанный с применением новых технических решений для модулей ИС.

Если количество и назначение модулей при этом остается прежним (т.е. модернизация затрагивает только внутреннюю структуру модулей ИС), то показатели ТЭЭ модернизации ИС в данном случае оцениваются аналогично описанному выше

с применением соотношений (3)–(5). Если же изменяется структура ИС, то следует скорректировать структурную модель достижения предельного состояния (ДПС) ИС (построить новое ДПС [5]), далее получить скорректированное выражение для ВНПС:

$$P'(t) = \prod_{k=1}^m \Psi'_k(p_{\langle l'_k \rangle}, r_{\langle v'_k \rangle}, t),$$

где  $P'(t)$  – зависимость ВНПС от времени для модернизированной ИС с измененной структурой. В этом случае новое (скорректированное) значение показателя ТЭЭ модернизации ИС может быть определено как

$$W_{\text{ссон}}^{\prime \text{мод}} = \frac{P'(t, \Delta t) - P(t, \Delta t)}{C_{\text{ссон}}^{\prime \text{мод}}},$$

где  $\Delta t$  – интервал времени, отсчитываемый от момента окончания модернизации;  $C_{\text{ссон}}^{\prime \text{мод}}$  – затраты на модернизацию;  $P'(t, \Delta t)$  – значение ВНПС для ИС после модернизации;  $P(t, \Delta t)$  – значение ВНПС ИС до модернизации.

Относительная оценка в данном случае может быть рассчитана как

$$v_{\text{ссон}}^{\prime \text{мод}} = \frac{W_{\text{ссон}}^{\prime \text{мод}}}{\Delta P_{\text{max}}} = \frac{W_{\text{ссон}}^{\prime \text{мод}}}{1 - \gamma}.$$

Проанализируем особенности оценивания показателей ТЭЭ отдельных МПОБ ИС при следующих допущениях:

- модернизация обеспеченности эксплуатации для  $i$ -го модуля ИС увеличивает – вероятность  $r_{1i}(t)$  – неисчерпания ЗИП  $i$ -го модуля на интервале  $\Delta t$  на величину  $r_{1i}$ ;
- затраты на модернизацию составляют  $\Delta c_{1i}^r$ ;

– ВНПС ИС при этом возрастает на величину  $\Delta P^{(r_{1i})} = K_{r_{1i}}^{\text{зн}} \cdot \Delta r_{1i} = \frac{\partial P}{\partial r_{1i}} \cdot \Delta r_{1i}$ ;

- $P_{r_{1i}}^{\langle 1 \rangle}(t)$  – оценка ВНПС ИС при единичных вероятностях  $r_{1i}$  в формуле (1);
- $P_{r_{1i}}^{\langle 0 \rangle}(t)$  – оценка ВНПС ИС при нулевых вероятностях  $r_{1i}$  в формуле (1).

Тогда оценка показателя ТЭЭ корректирования объема и номенклатуры ЗИП  $i$ -го модуля ИС может быть рассчитана как

$$\begin{aligned} \omega_{r_{1i}}^{\text{мод}} &= \frac{\Delta P^{(r_{1i})}}{\Delta c_{1i}^r} = \frac{K_{r_{1i}}^{\text{зн}} \cdot \Delta r_{1i}}{\Delta c_{1i}^r} = \frac{\frac{\partial P}{\partial r_{1i}} \cdot \Delta r_{1i}}{\Delta c_{1i}^r} = \\ &= \frac{[P_{r_{1i}}^{\langle 1 \rangle}(t) - P_{r_{1i}}^{\langle 0 \rangle}(t)] \cdot \Delta r_{1i}}{\Delta c_{1i}^r}. \end{aligned}$$

Оценка показателя ТЭЭ корректирования объема и номенклатуры ЗИП для ИС в целом получается как

$$W_{\text{ссон}(r_1)}^{\text{мод}} = \frac{\sum_{j \in \Omega_{\{n\}}^r} K_j^{\text{вкл}}}{\sum_{k \in \Omega_{\{n\}}^r} \Delta c_{1k}^r} = \frac{\sum_{j \in \Omega_{\{n\}}^r} [P_{r_{1i}}^{\langle 1 \rangle}(t) - P_{r_{1i}}^{\langle 0 \rangle}(t)] \cdot \Delta r_{1i}}{\sum_{k \in \Omega_{\{n\}}^r} \Delta c_{1k}^r}.$$

Относительные оценки ТЭЭ корректирования объема и номенклатуры ЗИП рассчитываются как

$$v_{r_{1i}}^{\text{мод}} = \frac{\omega_{r_{1i}}^{\text{мод}}}{\Delta P_{\text{max}}} = \frac{\omega_{r_{1i}}^{\text{мод}}}{1 - \gamma};$$

$$v_{\text{ссон}(r_1)}^{\text{мод}} = \frac{W_{\text{ссон}(r_1)}^{\text{мод}}}{\Delta P_{\text{max}}} = \frac{W_{\text{ссон}(r_1)}^{\text{мод}}}{1 - \gamma}.$$

Аналогичным образом рассчитываются оценки ТЭЭ улучшения механизмов восполнения ЗИП:  $\omega_{r_{2i}}^{\text{мод}}$ ,  $W_{\text{ссон}(r_2)}^{\text{мод}}$ ,  $v_{r_{2i}}^{\text{мод}}$ ,  $v_{\text{ссон}(r_2)}^{\text{мод}}$ ; совершенствования системы обучения специалистов ремонту модулей ИС:  $\omega_{r_{3i}}^{\text{мод}}$ ,  $W_{\text{ссон}(r_3)}^{\text{мод}}$ ,  $v_{r_{3i}}^{\text{мод}}$ ,  $v_{\text{ссон}(r_3)}^{\text{мод}}$  и сохранения и совершенствования ремонтных технологий:  $\omega_{r_{4i}}^{\text{мод}}$ ,  $W_{\text{ссон}(r_4)}^{\text{мод}}$ ,  $v_{r_{4i}}^{\text{мод}}$ ,  $v_{\text{ссон}(r_4)}^{\text{мод}}$ .

Приведем алгоритм реализации поиска наиболее эффективного метода компенсации ДРОУ ИС.

1. На основе анализа ДПС ИС определим вид зависимости (1) (ВНПС ИС от ВБР элементов оборудования ИС и ВНФ элементов ПВТР ИС).

2. Оценим значения ВБР модулей  $p_{1k}$ ; ВНФ  $r_{1k}(t)$  (неисчерпания ЗИП модулей ИС); ВНФ  $r_{2k}(t)$  (пополнения ЗИП модулей); ВНФ  $r_{3k}(t)$  (вероятностей наличия специалистов по ремонту модулей); ВНФ  $r_{4k}(t)$  (вероятностей наличия доступных технологий ремонта модулей), где  $k = \overline{1, m}$  на интервале  $\Delta t$ .

3. Оценим величины приращений вероятностей и соответствующие затраты для каждого модуля по всем рассматриваемым методам модернизации:

$$\langle \Delta p_{1k}, \Delta c_{1k}^r \rangle; \langle \Delta r_{1k}, \Delta c_{1k}^r \rangle; \langle \Delta r_{2k}, \Delta c_{2k}^r \rangle;$$

$$\langle \Delta r_{3k}, \Delta c_{3k}^r \rangle; \langle \Delta r_{4k}, \Delta c_{4k}^r \rangle; W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, k = \overline{1, m}.$$

4. Рассчитаем оценки показателей ТЭЭ для отдельных методов модернизации:

$$\omega_{p_{1k}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, v_{p_{1k}}^{\text{мод}}, \omega_{r_{jk}}^{\text{мод}},$$

$$W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, v_{r_{jk}}^{\text{мод}}, v_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}},$$

где  $j = \overline{1, 4}$ ,  $k = \overline{1, n}$ ,  $n = m \times 4$ .

5. Проранжируем оценки показателей ТЭЭ:

$$W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}},$$

либо

$$v_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, v_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, v_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4}.$$

6. Выберем наиболее эффективный метод компенсации ДРОУ ИС:

– при

$$W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}} = \max \langle W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4} \rangle$$

нужно заменить элементную базу оборудования ИС на более современную и надежную;

– при

$$W_{\text{ссон}}^{\text{мод}} = \max \langle W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4} \rangle$$

нужно применить новые технические решения построения модулей ИС (ИС в целом);

– при

$$W_{\text{ссон}(r_1)}^{\text{мод}} = \max \langle W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4} \rangle$$

нужно корректировать объем и номенклатуру ЗИП ИС;

– при

$$W_{\text{ссон}(r_2)}^{\text{мод}} = \max \langle W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4} \rangle$$

нужно улучшить механизмы восполнения ЗИП;

– при

$$W_{\text{ссон}(r_3)}^{\text{мод}} = \max \langle W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4} \rangle$$

нужно совершенствовать систему обучения специалистов ремонту ИС;

– при

$$W_{\text{ссон}(r_4)}^{\text{мод}} = \max \langle W_{\text{ссон}(p_1)}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}}^{\text{мод}}, W_{\text{ссон}(r_j)}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4} \rangle$$

нужно предпринять меры по сохранению и совершенствованию ремонтных технологий.

7. Далее целесообразно определить наиболее предпочтительные пути реализации выбранного метода посредством анализа оценок показателей:

$$\langle \omega_{p_{1k}}^{\text{мод}}, k = \overline{1, m} \rangle;$$

$$\langle \omega_{r_{jk}}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4}, k = \overline{1, n}, n = m \times 4 \rangle$$

либо

$$\langle v_{p_{1k}}^{\text{мод}}, k = \overline{1, m} \rangle;$$

$$\langle v_{r_{jk}}^{\text{мод}}, j = \overline{1, 4}, k = \overline{1, n}, n = m \times 4 \rangle.$$

### Выводы

В статье описаны особенности обоснования методов управления развитием информационных систем в направлении компенсации деградации ресурсной отказоустойчивости. Описана классификация методов компенсации деградации ресурсной отказоустойчивости. Выделены два вида методов: методы модернизации оборудования информационных систем и методы повышения обеспеченности эксплуатационных процессов. Получены аналитические выражения для расчета оценок показателей ТЭЭ применения различных методов компенсации ресурсной отказоустойчивости. При этом использован математический аппарат деревьев предельного состояния. Описан подход к обоснованию выбора наиболее рационального с точки зрения максимума показателя ТЭЭ метода управления развитием ИС с использованием результатов ранжирования оценок показателей ТЭЭ.

### Список литературы

1. Брум А.Н., Зеленцов В.А., Миронов А.Н. Анализ вариантов модернизации оборудования при управлении развитием кабельных телевизионных сетей // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2003. – Т. 46, № 5. – С. 10–13.
2. Брум А.Н., Миронов А.Н. Оценивание показателей долговечности оборудования информационных сетей // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2004. – Т. 47, № 2. – С. 3–9.
3. Гузенко В.Л., Клепов А.В., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л. Постановка задачи обеспечения технико-экономической эффективности эксплуатации распределенной информационной системы [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12361> (дата обращения: 30.05.2017).
4. Козлов А.Д., Миронов А.Н., Ниязов Р.А. Проектная оценка качества функционирования систем сбора и обработки информации при неблагоприятных воздействиях // Транспортное дело России. – 2013. – № 5. – С. 213–216.
5. Миронов А.Н. Прогнозирование показателей долговечности стартовых комплексов на основе интегрированных структурных моделей предельного состояния // Двойные технологии. – 2000. – № 1. – С. 23–25.
6. Миронов А.Н., Новиков А.Н., Малахов А.В. Индивидуально-групповое прогнозирование остаточного ресурса измерительных комплексов по экономическому критерию // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 25–30.
7. Миронов А.Н., Пальгунов В.Ю., Ковальский А.А. Математическая модель достижения предельного состояния антенных систем наземных станций измерительного комплекса космодрома «Плесецк» // Известия Института инженерной физики. – 2016. – Т. 1, № 39. – С. 31–36.
8. Митчелл Р. Моральный износ и как с ним бороться [Электронный ресурс] // Computerworld Россия. – 2008. – № 32. – URL: <http://www.osp.ru/cw/2008/32/5462756>.
9. Шестопалова О.Л. Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11078> (дата обращения: 30.05.2017).
10. Шестопалова О.Л., Муравьев А.В. Прогнозирование срока службы информационной системы с учетом морального старения элементной базы технических средств // Транспортное дело России. – 2014. – № 6. – С. 186–189.