

# Экономика, организация и менеджмент на предприятии

УДК 004.051

## Анализ задачи эффективной эксплуатации комплексов систем автоматизации и расчеты надежности на основе непрерывных моделей

С.М. Коваленко<sup>1</sup>, О.В. Платонова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, 119454, Москва, Российская Федерация, пр-т Вернадского, д. 78.

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1; Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, 119454, Москва, Российская Федерация, пр-т Вернадского, д. 78.

## Analysis of the operational efficiency of complex automation systems and the calculation of their reliability on the basis of continuous models

S.M. Kovalenko<sup>1</sup>, O.V. Platonova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation, Vernadskogo ave., 78, 119454, Moscow, Russian Federation.

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation; Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation, Vernadskogo ave., 78, 119454, Moscow, Russian Federation.



e-mail: kovalenko@mirea.ru, oplatonova@gmail.com



В настоящее время вопросы технико-экономического анализа и организации комплекса систем автоматизации (КСА) имеют важное значение для эффективной эксплуатации компьютерного оборудования в коммерческих фирмах и государственных организациях. Предполагается, что КСА может функционировать в режимах удаленного или непосредственного администрирования. В научной литературе не приводится сравнительных исследований характеристик надежности и стоимости КСА для разных режимов. В статье рассмотрены вопросы технико-экономического анализа. Исследовано в каком режиме можно получить более высокие характеристики надежности и более низкую стоимость эксплуатации КСА. Представлен качественный вид зависимости характеристик стоимости и коэффициента готовности для различных периодов эксплуатации оборудования КСА. Результаты исследования позволяют выбирать режим эксплуатации оборудования КСА в зависимости от заданного периода работы системы.

**Ключевые слова:** эффективная эксплуатация, комплекс систем автоматизации, показатель качества, стоимость, надежность.



The problems of technical-economical analysis and efficient operation of complex automation systems (CAS) are discussed. The CAS is considered to be able to operate under remote or direct administration. The scientific literature on comparative studies of the CSA reliability and cost

under different conditions is lacking. This paper investigates the conditions that can increase the CAS reliability and lower its operating costs. The availability factor and cost characteristics are presented for various periods of operation of the CAS equipment. The study shows that the remote administration mode is more cost-effective in the long term. The results of research substantiate the choice of operational modes of the CAS equipment depending on the period of operation.

**Keywords:** operational efficiency, complex automation systems, cost, reliability.

Эффективная эксплуатация комплексов систем автоматизации (КСА) низкого уровня (НУ) предполагает, что в процессе их эксплуатации при минимальных финансовых затратах достигаются требуемые показатели качества технической эксплуатации и обслуживания (ТЭО) КСА. Основным показателем качества ТЭО рассматривают коэффициент готовности  $K_r$  КСА, демонстрирующий вероятность того, что в произвольный момент времени КСА находится в работоспособном состоянии.

Цель работы — технико-экономический анализ и организация экономической и надежной эксплуатации КСА.

Высокого значения коэффициента готовности КСА можно достичь за счет увеличения среднего времени наработки на отказ  $T$ , либо уменьшения среднего времени восстановления КСА  $T_v$ . Рассмотрим методы повышения времени наработки на отказ  $T$  и снижения времени восстановления  $T_v$  в двух основных вариантах:

- вариант № 1. КСА НУ эксплуатируется дистанционно, т.е. квалифицированный оператор находится за автоматизированном рабочим местом (АРМ) в КСА более высокого уровня и с помощью программных средств администрирует работу нескольких КСА НУ;

- вариант № 2. В каждом КСА НУ непосредственно присутствует квалифицированный оператор, отвечающий за администрирование его работы.

В варианте № 1 при возникновении отказа в одном из компьютеров КСА НУ, выполняющего функции АРМа или сервера, продолжение функционирования КСА возможно только, если удаленный оператор переводит решение текущих задач на резервный компьютер, функционирующий в режиме «горячего» резервирования. Наличие резервного (резервных) компьютера в составе КСА в этом случае является насущной необходимостью, несмотря на то, что это удорожает эксплуатацию КСА. Кроме того, наличие резервного оборудования увеличивает значение среднего времени наработки на отказ. В качестве программных средств, обеспечивающих дистанционное администрирование аппаратуры КСА, для Windows можно использовать службу каталога Active Directory под управлением Windows

Server 2003, для Linux-систем — продукт eDirectory фирмы Novell. Эти продукты обеспечивают доступ к базе данных (каталогу), в которых хранится информация о всех объектах локальной сети и позволяет управлять этими объектами.

В варианте № 2 возникновение отказа в средствах КСА НУ обнаруживается и устраняется оператором КСА НУ. Процесс выявления и устранения отказа в этом случае, как правило, происходит быстрее, что ведет к снижению значения  $T_v$ , однако суммарные затраты на эксплуатацию КСА в течение срока эксплуатации возрастут за счет средств на содержание квалифицированного дежурного оператора в каждой КСА НУ.

Изменение затрат на ТЭО КСА НУ (параметр  $C$ ) в течение срока эксплуатации  $t$  для вариантов эксплуатации № 1 и 2 показано на рис. 1.

Относительно высокие начальные затраты в варианте № 1 обусловлены необходимостью установки резервных компьютеров в КСА, а небольшой угол наклона кривой объясняется тем, что финансовые затраты на содержание оператора, дистанционно администрирующего КСА НУ, раскладываются на те несколько КСА НУ, которые он обслуживает одновременно. Затраты на ТЭО КСА НУ в варианте № 2 в основном определяются финансами на содержание квалифицированного оператора в каждом КСА НУ. Поскольку стоимость современных компьютеров невелика по сравнению с затратами на содержание персонала, точка пересечения графиков в вариантах № 1 и 2 произойдет при значениях  $t = 2-4$  месяца эксплуатационного срока.

Преимущества варианта № 2 эксплуатации КСА НУ проявляются только в том случае, если критически важно ограничение срока поиска и устранения неисправности в КСА НУ. В этом слу-

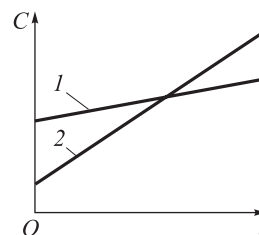


Рис. 1. Изменение затрат на ТЭО КСА НУ в течение срока эксплуатации для варианта № 1 (1) и № 2 (2)

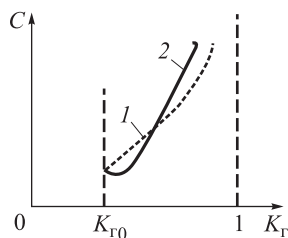


Рис. 2. Связь значения коэффициента готовности с объемом затрат на ТЭО КСА НУ для варианта № 1 (1) и № 2 (2)

чае в варианте № 1 следует уменьшать интервал времени между моментами передачи оператору тестовой диагностической информации о состоянии КСА НУ, что требует высокой пропускной способности каналов связи и, возможно, снижать число КСА НУ, которые оператор дистанционно администрирует одновременно.

Зависимость значения  $K_r$  от объема затрат (параметр  $C$ ) на ТЭО КСА НУ представлена на рис. 2. Значение  $K_{r0}$  приведено без учета работы резервной аппаратуры в КСА для одноразового режима обслуживания КСА в сутки. Добавление резерва и снижение среднего времени восстановления системы в вариантах № 1 и 2 ведет к увеличению  $K_r$ , при соответствующем росте затрат на ТЭО КСА НУ. Установив требования заказчика по значению  $K_r$  можно оценить объем затрат на эксплуатацию КСА в течение заданного времени при дистанционном и непосредственном обслуживании КСА.

Рассмотрим изменение  $K_r$  на простом примере. Пусть  $K_{r0} = 0,99$ , что соответствует значениям  $T_{в0} = 24$  ч и  $T_0 = 2\ 400$  ч. Примем, что требуемое значение  $K_r$  должно составлять  $0,9999 = 1 - 0,0001$ . В варианте № 2 основное влияние на повышение  $K_r$  будет оказывать снижение  $T_{в}$ , причем, при  $T_{в} = 2,4$  ч  $K_r = 0,999$ , а при  $T_{в} = 0,24$  ч (15 мин)  $K_r = 0,9999$  (использовано приближенное расчетное соотношение  $K_r = 1 - T_{в}/T$ ). Однако на практике получить значение среднего времени восстановления 15 мин нереально. Это означает, что на практике для достижения значения  $K_r = 0,9999$  необходимо и снижение  $T_{в}$  и повышение  $T$  за счет установки резервного оборудования.

Рассмотрим задачу оценки надежностных параметров КСА НУ при наличии резервных элементов. По мере усложнения решаемых задач в состав КСА входит все большее число обрабатывающих устройств (процессоров), объединяемых стандартными сетевыми средствами. Таким образом создаются распределенные многопроцессорные КСА для управления сложными объектами и процессами, в которых каждый

процессор решает некоторый отведенный для него набор задач за установленный период времени. Структура таких КСА, организация связей между процессорами, распределение задач по процессорам могут быть самыми разнообразными. Однако эти параметры необходимо учитывать при оценке надежности функционирования КСА, если расчеты надежности проводятся стандартными методами, подразумевающими дискретное описание состояний, в которых может находиться каждый процессор. Следует учитывать также, что такие системы обладают свойствами отказоустойчивости, поскольку при отказе одного процессора выполняемые на нем задачи могут быть перераспределены на другие процессоры. Известно, что расчет надежностных характеристик систем с резервированием представляет достаточно сложную задачу, особенно при большом числе элементов системы.

Нетривиальную задачу представляет собой и установление критерия отказа в таких системах, поскольку при этом приходится исследовать затраты времени, возникающие при перераспределении выполняемых задач по процессорам.

Рассмотрим более подробно методику оценки надежности КСА как надежностной системы с резервированием. Положим, что анализ функционирования КСА позволяет сформулировать критерий отказа как одновременный отказ определенной доли процессоров  $y$  из общего числа  $N$ . Таким образом, отказ  $m$  процессоров из общего числа  $N$ , где  $y = m/N$ ,  $m < N$ , приводит к отказу КСА.

Одним из методов, применяемых при оценке надежности таких систем, является построение соответствующих алгебраических или разностных уравнений, связывающих вероятности состояний системы. При этом число уравнений зависит от числа резервных элементов.

Для рассматриваемых систем число резервных элементов может достигать десятков единиц. В этих условиях указанные дискретные методы анализа таких систем становятся громоздкими и трудоемкими.

Известны методы анализа надежности на основе приближенных непрерывных диффузных моделей [1–6]. Преимущества применения непрерывных диффузных моделей объясняются следующим:

- 1) для многоэлементных систем фактор дискретности не столь существенен и затрудняет практическое применение дискретных методов;
- 2) для систем с большим числом однотипных элементов начинает проявляться относительность критерия отказа.

Трудно доказать, что КСА исправна при 10 отказавших элементах и неисправна при 11 отказавших из 50 или 100. Целесообразнее перейти к доле отказавших процессоров.

Приведенными соображениями обоснован выбор непрерывных моделей для анализа надежности информационно-управляющей системы. Методика анализа надежности КСА, базирующаяся на непрерывных методах, состоит в следующем. Исходными уравнениями для непрерывных методов оценки работоспособности являются уравнения гибели и размножения:

$$\frac{P_m(t)}{dt} \lambda_{n-1} P_{i,n-1}(t) - (\lambda_n + \mu_n) P_{i,n}(t) \mu_{n+1} P_{i,n+1}(t).$$

Здесь  $\lambda_n$  — интенсивность переходов системы из состояния  $E_n$  в состояние  $E_{n+1}$ ;  $\mu_n$  — интенсивность переходов из состояния  $E_{n+1}$  в состояние  $E_n$  ( $\lambda_n$  и  $\mu_n$  — аналоги интенсивностей отказов и восстановления);  $P_{i,n}(t)$  — вероятность нахождения системы в момент  $t$  в состоянии  $E_n$  при условии, что в момент времени  $t = 0$  система находится в состоянии  $E_i$  с  $i$  отказавшими элементами.

Состояние системы в произвольный момент времени с  $n$  отказавшими элементами обозначим  $E_n$ .

Для систем с большим числом состояний удобно ввести нормированные переменные  $iN^{-1} = x$ ,  $nN^{-1} = y$ , где  $N$  — общее число элемен-

тов, а затем представить предыдущее уравнение в разностной форме:

$$\frac{\partial P(x, y, t)}{\partial t} = \lambda(y - \Delta y) P(x, y - \Delta y, t) - [\lambda(y) + \mu(y)] P(x, y, t) + \mu(y + \Delta y) P(x, y + \Delta y, t),$$

где  $\Delta y = N^{-1}$ .

В данном уравнении обозначения величин  $x$  и  $y$  физически соответствуют доле отказавших элементов в момент времени  $t = 0$  и  $t \neq 0$ . На этой математической основе можно получить выражения для средней наработки на отказ, используя результаты работы [1, 7–10].

Следует отметить, что в случае изменяющихся во времени  $\lambda$  и  $\mu$  решения дискретных задач чрезвычайно громоздки, но для непрерывных моделей они могут быть получены достаточно просто.

## Выводы

1. Оценка надежности информационных систем на основе непрерывных моделей надежности заметно упрощает инженерные расчеты и имеет хорошие перспективы использования.

2. Доказано, что по стоимости режим удаленного администрирования оборудования КСА более выгоден при длительном периоде эксплуатации.

## Литература

- [1] Коваленко С.М. Оценка надежности информационно-управляющих систем на основе непрерывных моделей. *Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ*, вып. 2, 2005. с. 143–146.
- [2] Громов Ю.Ю., Иванова О.Г., Мосягина Н.Г., Набатов К.А. *Надежность информационных систем*. Тамбов, Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 160 с.
- [3] Богданов А.В., Корхов В.В., Мареев В.В., Станкова Е.Н. *Архитектуры и топологии многопроцессорных вычислительных систем*. Москва, Интернет-университет информационных технологий, 2012. 176 с.
- [4] Олифер В.Г., Олифер Н.А. *Основы компьютерных сетей*. Санкт-Петербург, Питер, 2009. 352 с.
- [5] Таненбаум Э., Уэзеролл Д. *Компьютерные сети*. Санкт-Петербург, Питер, 2012. 960 с.
- [6] Емельянов С.В. *Информационные технологии и вычислительные системы*. Москва, Едиториал УРСС, 2010. 164 с.
- [7] Федотов А.В. *Основы теории надежности и технической диагностики*. Омск: ОмГТУ, 2010. 64 с.
- [8] Гергель В.П., Стронгин Р.Г. *Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем*. Нижний Новгород, Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010. 184 с.
- [9] Чекарев Ю.В. *Вычислительные системы, сети и коммуникации*, Москва, ДМК-Пресс, 2009. 200 с.
- [10] Пятибратов А.П., Гудыно Л.П., Кириченко А.А. *Вычислительные машины, сети и телекоммуникационные системы*. Москва, ЕАОИ, 2009. 292 с.

## References

- [1] Kovalenko S.M. Otsenka nadezhnosti informatsionno-upravliaiushchikh sistem na osnove nepreryvnykh modelei [Evaluation of reliability of information management systems based

- on continuous models]. *Voprosy radioelektroniki. Seriya: Elektronnaia vychislitel'naia tekhnika* [Questions electronics. Series: Electronic Computing]. 2005, no. 2, pp. 143–146.
- [2] Gromov Iu.Iu., Ivanova O.G., Mosiagina N.G., Nabatov K.A. *Nadezhnost' informatsionnykh sistem* [Reliability of information systems]. Tambov, TSTU publ., 2010. 160 p.
- [3] Bogdanov A.V., Korkhov V.V., Mareev V.V., Stankova E.N. *Arkhitektury i topologii mnogoprotsessornykh vychislitel'nykh sistem* [Architecture and topology of multiprocessor computer systems]. Moscow, Internet-universitet informatsionnykh tekhnologii publ., 2012. 176 p.
- [4] Olifer V.G., Olifer N.A. *Osnovy komp'iuternykh setei* [Fundamentals of Computer Networks]. St. Petersburg, Piter publ., 2009. 352 p.
- [5] Tanenbaum E., Uezeroll D. *Komp'iuternye seti* [Computer Networks]. St. Petersburg, Piter publ., 2012. 960 p.
- [6] Emel'ianov S.V. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [Information Technology and Computing]. Moscow, Editorial URSS publ., 2010. 164 p.
- [7] Fedotov A.V. *Osnovy teorii nadezhnosti i tekhnicheskoi diagnostiki* [Fundamentals of the theory of reliability and technical diagnostics]. Omsk, OmSTU publ., 2010. 64 p.
- [8] Gergel' V.P., Strongin R.G. *Osnovy parallel'nykh vychislenii dlia mnogoprotsessornykh vychislitel'nykh sistem* [Introduction to Parallel Programming for multiprocessor computing systems]. Nizhnii Novgorod, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod publ., 2010. 276 p.
- [9] Chekmarev Iu.V. *Vychislitel'nye sistemy, seti i telekommunikatsii* [Computer systems, networks and telecommunications]. Moscow, DMK-Press, 2009. 184 p.
- [10] Piatibratov A.P., Gudyno L.P., Kirichenko A.A. *Vychislitel'nye mashiny, seti i telekommunikatsionnye sistemy* [Computers, networks and telecommunication systems]. Moscow, Eurasian Open Institute publ., 2009. 292 p.

Статья поступила в редакцию 05.05.2014

### Информация об авторах

**КОВАЛЕНКО Сергей Михайлович** (Москва) — кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой «Вычислительная техника». Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики (119454, Москва, Российская Федерация, пр-т Вернадского, д. 78, e-mail: kovalenko@mirea.ru).

**ПЛАТОНОВА Ольга Владимировна** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана, доцент кафедры «Вычислительная техника» Московского государственного технического университета радиотехники, электроники и автоматики (119454, Москва, Российская Федерация, пр-т Вернадского, д. 78, e-mail: oplatonova@gmail.com).

### Information about the authors

**KOVALENKO Sergey Mikhaylovich** (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Computer Engineering» Department. Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation (MIREA, Vernadskogo ave., 78, 119454, Moscow, Russian Federation, e-mail: kovalenko@mirea.ru).

**PLATONOVA Oľga Vladimirovna** (Moscow) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Computer Systems of Automated Production» Department. Bauman Moscow State Technical University, Associate Professor of «Computer Engineering» Department. Moscow State Institute of Radio Engineering, Electronics and Automation (MIREA, Vernadskogo ave., 78, 119454, Moscow, Russian Federation, e-mail: oplatonova@gmail.com).