

**К ВОПРОСУ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ
С ПОЛНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ**

П. А. Кузнецов

Сибирский государственный технологический университет
Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 82
E-mail: forubox@yandex.ru

Рассматривается надежность автоматизированных систем, вопрос эффективности повышения надежности систем путём резервирования. Действие АСУ рассматривается с точки зрения выработки какого-то продукта, в общем случае – какого-то материального результата. Изучается эффект, который приносит исправная система, затраты на реализацию резервированной системы. Фактическая постройка АСУ требует капитальных затрат (экономических ресурсов). Показывается эффект, который даёт повышение степени резервирования. Изучаются системы с полным резервированием, расход ресурсов на их реализацию. Раскрываются последствия отказов, переход систем в неисправное и опасное состояние, причинение отказами ущерба.

Выводятся формулы, определяющие зависимости эффекта от расходов на реализацию системы, ущерба от отказа системы, надежности и степени резервирования. Проводится приведение формул к зависимости от малого количества переменных. Приводятся графики, показывающие точки изменения выгодности той или иной степени резервирования, графики зависимости относительной стоимости от ущерба и относительной стоимости систем при определённых степенях резервирования, надежности и ущерба, при превышении которых экономический эффект становится отрицательным. Показывается, при каких условиях становится выгодной та или иная степень резервирования, граничные условия для определенных степеней избыточности, позволяющие проводить анализ эффективности АСУ.

Ключевые слова: надежность, избыточность, ущерб, эффективность.

Vestnik SibGAU
Vol. 16, No. 2, P. 326–330**ON THE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS
OF FULLY REDUNDANT SYSTEMS**

P. A. Kuznetsov

Siberian State Technological University
82, Mira Av., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation
E-mail: forubox@yandex.ru

The article discusses the reliability of automated systems, the question of the effectiveness of Reliability Improvement by reservation. Action ACS is considered from the point of view of production of a product, in the general case - some tangible results. The phenomenon, which brings the system reliability, the cost of implementing a redundant system, is studied. The actual construction of ACS requires capital costs (economic resources). The effect that increases the degree of redundancy is shown. We study a system with full redundancy, the consumption of resources for their implementation. We reveal the consequences of failure, the transition systems are faulty and dangerous condition caused by the failure of damage. The formula for determining the dependence of the effect on the costs of implementing the system, the damage caused by failure of the system, reliability and redundancy are shown. The above formulas to dependence on a small number of variables are carried out. The graphs showing the changes in terms profitability varying degrees of redundancy, graphs of the relative value of the damage and the relative value of the relative damage and reliability are provided. On the graph it is shown the critical values of the cost of systems with a certain degree of redundancy, reliability and damage, above which the economic effect is negative. It is shown under what conditions it becomes profitable or that the degree of redundancy, the boundary conditions to determine the degree of redundancy, allowing to analyze the effectiveness of control systems.

Keywords: reliability, redundancy, danger, damage, efficiency.

Введение. Любая система автоматизированного управления технологическим процессом неразрывно связана с самим технологическим процессом. И, следовательно, их надежность необходимо рассматривать совокупно. Рассмотрим надежность работы АСУ с точки зрения экономической эффективности на протяжении некоего времени T .

Известно, что результатом работы какого-либо технологического процесса является выработка какого-то продукта, в общем случае – какого-то материального результата. Основной экономической эффект от применения АСУ определяется повышением эффективности автоматизируемого производства, повышением качества и надежности управления, сопровождаемым снижением потерь, повышением производительности, снижением аритмии и т. п. [1]. И данный продукт, результат, получаемый за время T , можно выразить в экономическом эквиваленте. Обозначим его прибылью Π .

В свою очередь, фактическая постройка АСУ требует капитальных затрат (экономических ресурсов). Система управления обладает стоимостью C .

Капитальные затраты на разработку, внедрение АСУ включают [2; 3]:

- капитальные затраты на приобретение (изготовление), транспортирование, монтаж и наладку вычислительной техники;
- затраты на строительство (реконструкцию) зданий, сооружений, необходимых для функционирования АСУ;
- изменение оборотных средств в связи с разработкой и внедрением АСУ.

Качество функционирования технических систем определяется различными показателями. И одним из таких показателей является надёжность – свойство объекта сохранять по времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Уровень тестируемости дефекта определяется как вероятность обнаружения сбоя на случайно выбранном выходе [4–7].

Состояние, в котором не все значения параметров объекта находятся в установленных пределах, называют неисправным. И зачастую при переходе в такое состояние происходит авария. Система переходит в опасное состояние – чрезвычайное состояние, при котором возник ущерб большого масштаба [8]. Таким образом, при наступлении неисправного состояния ТП возникает потеря экономических ресурсов – ущерб Y [9–11].

Вероятность пребывания ТП в исправном состоянии обозначим буквой P .

Система, на которую затрачены финансы в размере стоимости C , с вероятностью P приносит прибыль Π , а с вероятностью $1-P$ ущерб Y .

Получающийся экономический эффект выражается формулой

$$\Xi = \Pi \cdot P - (C + Y(1 - P)). \quad (1)$$

Для повышения надежности системы применяются методы повышения надежности, в частности, резервирование в его простейшем виде – полное резервирование [12; 13].

Стоимость такой резервированной системы повышается в K раз, и экономический эффект:

$$\Xi = \Pi \cdot (1 - (1 - P)^K) - (C \cdot K + Y \cdot (1 - P)^K); \quad (2)$$

$$\Xi = \Pi - C \cdot K + (1 - P)^K \cdot (\Pi + Y).$$

В данном виде экономический эффект зависит от пяти переменных.

Упростим это выражение, разделив обе части на Π :

$$\Xi_0 = 1 - a_1 \cdot K - (1 - P)^K \cdot (a_2 + 1), \quad (3)$$

a_1 назовём относительной стоимостью (ОС), a_2 – относительным ущербом (ОУ).

Если относительная стоимость будет превышать единицу, если стоимость будет больше прибыли – экономический эффект в любом случае будет отрицателен [14].

Как мы видим, если слагаемые

$$-a_1 \cdot K - (1 - P)^K \cdot (a_2 + 1) \quad (4)$$

в сумме дадут больше 1, то итоговый экономический эффект будет отрицателен. И можно выяснить условия этого, зафиксировав все переменные, кроме одной.

Приравняем экономический эффект к нулю, выразим из него относительную стоимость:

$$a_1 = \frac{1 - (1 - P)^K (a_2 + 1)}{K}. \quad (5)$$

Критическая относительная стоимость. Рассмотрим, какую величину при каких значениях P , a_2 и K будет иметь критическая относительная стоимость – такая относительная стоимость, превышение которой даст отрицательный экономический эффект.

На рис. 1 показаны зависимости критической относительной стоимости от относительного ущерба при надежности системы 0,9 и отсутствии резервирования (прямая 1), одинарном резервировании (дублировании) (прямая 2) и двойном резервировании (прямая 3). Критическая a_1 одного варианта становится выше критической a_1 другого в точках пересечения прямых.

Координаты точек находятся решением соответствующих уравнений.

При надежности системы 0,9 дублирование становится выгоднее его отсутствия при относительной стоимости, меньшей 0,47, и относительном ущербе, большем 4,26.

При надежности системы 0,9 двойное резервирование становится выгоднее при относительной стоимости, меньшей 0,321, и относительном ущербе, большем 34,71.

Выражение

$$a_1 = \frac{1 - (1 - P)^K (a_2 - 1)}{K}$$

можно графически представить и в одной системе координат в виде семейства поверхностей – множества поверхностей, непрерывно зависящих от одного или нескольких параметров [15; 16]. Одной координатой будет показатель P , другой – a_2 , а разделяющей элементы семейства – K .

Сначала получим функцию, показывающую зависимость значений надежности от относительного ущерба и ограничивающую область большей выгоды отсутствия резервирования:

$$1 - (1 - P)(a_2 + 1) = \frac{1 - (1 - P)^2(a_2 + 1)}{2},$$

$$P = \frac{4 \pm \sqrt{4 - \frac{4}{1 + a_2}}}{2}.$$

Зависимость стоимости от надежности. Покажем теперь на одном графике, как зависит относи-

тельная стоимость от надежности и относительного ущерба.

Функция, представляемая на графиках

$$a_1 = \frac{1 - (1 - P)^K(a_2 - 1) - \Xi_0}{K}.$$

Вначале приведём номограммы для значений относительной стоимости, при которой экономический эффект равен нулю, и разных степеней резервирования.

При отсутствии резервирования график будет иметь вид, представленный на рис. 2.

При дублировании график-номограмма будет иметь вид, представленный на рис. 3.

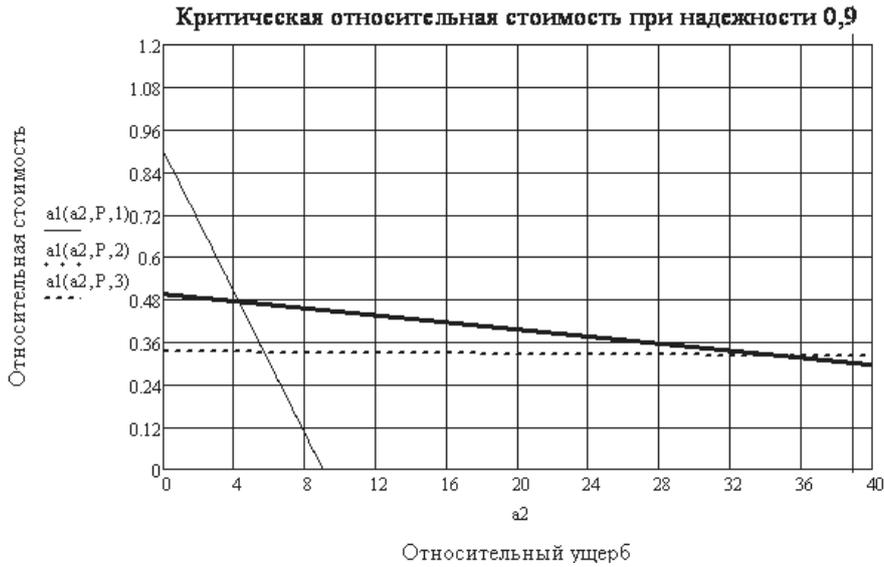


Рис. 1. Графики зависимости критической относительной стоимости от относительного ущерба при надежности одного экземпляра системы 0,9

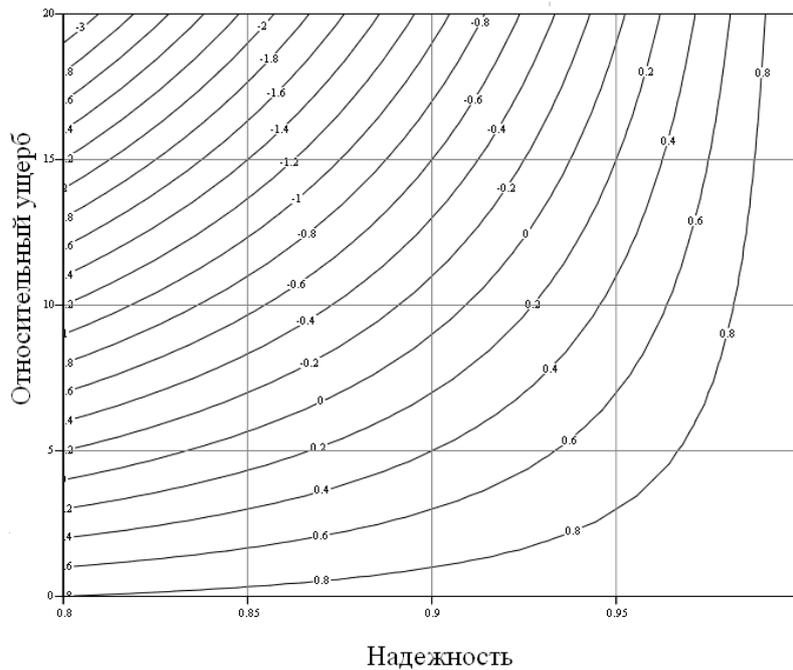


Рис. 2. Номограмма относительной стоимости при отсутствии резервирования

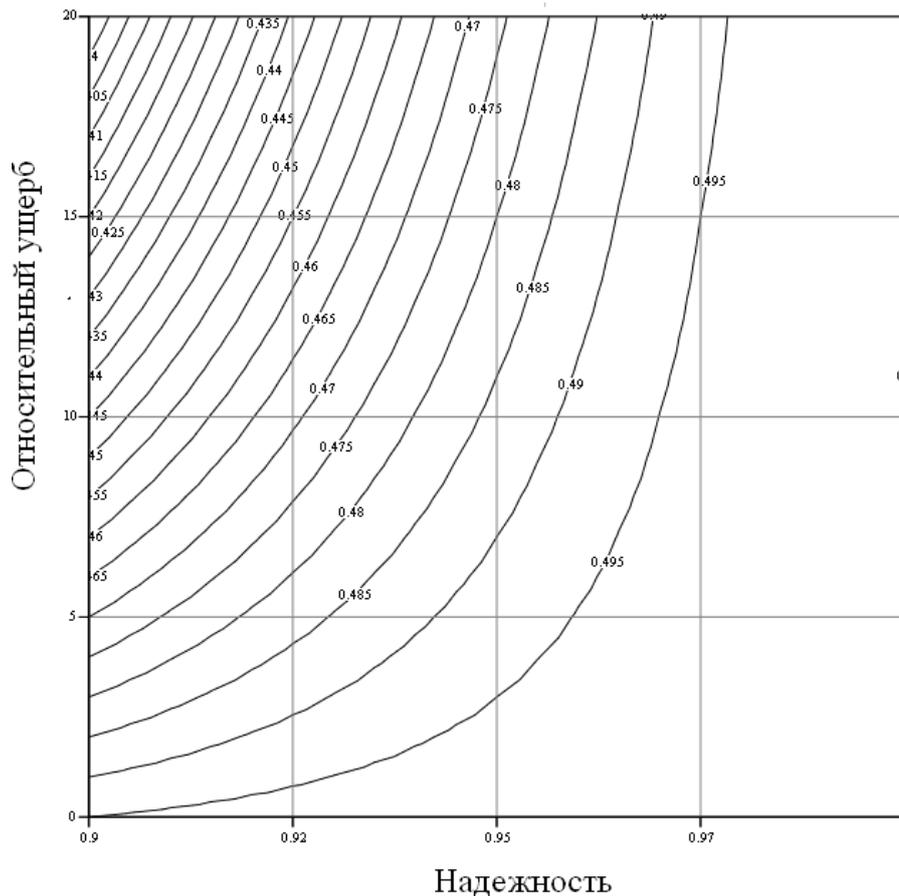


Рис. 3. Номограмма относительной стоимости при дублировании

Заключение. Анализируя все вышеприведенные выкладки и графики-номограммы, можно сделать вывод о том, что выгодность применения метода резервирования для повышения надежности АСУ ТП имеет свои весьма конкретные ограничения по стоимости создаваемой системы, надежности её элементов и ущербу, причиняемому её выходом из строя. Вычислив эти ограничивающие условия, можно проектировать надежные и одновременно эффективные системы. Приведенные графики показывают граничные условия для определенных степеней избыточности и позволяют проводить анализ эффективности АСУ.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 24.702–85. Эффективность автоматизированных систем управления. Основные положения [Электронный ресурс]. URL: <http://cert.obninsk.ru/gost/554/554.html> (дата обращения: 12.02.2015).
2. Пославский М. А. Экономическая эффективность автоматизации управления производством в цветной металлургии : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05. / Ин-т «Гипроникель», СПб., 2006. 176 с.
3. ГОСТ 34.602–89. Техническое задание на создание автоматизированной системы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rgost.ru/> (дата обращения: 12.02.2015).
4. Ковалев И. В. Анализ проблем в области исследования надежности программного обеспечения:

- многоэтапность и архитектурный аспект // Вестник СибГАУ. 2014. № 3 (55). С. 78–92.
5. Курочкин Ю. А., Смирнов А. С., Степанов В. А. Надежность и диагностирование цифровых устройств и систем. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1993. 320 с.
6. Модификация метода Волковича–Михалевича с целью оптимизации затрат при синтезе отказоустойчивых информационно-вычислительных систем / П. А. Кузнецов [и др.] // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 6(46). С. 97–100.
7. К вопросу оценки надежности АСУ с блокирующими модулями защиты / И. В. Ковалев [и др.] // Приборы. 2013. Вып. 6. С. 20–24.
8. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2007. 276 с.
9. ГОСТ Р 22.10.01–2001. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Оценка ущерба. Термины и определения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rgost.ru/> (режим доступа: 12.02.2015).
10. Безопасность и надежность технических систем : учеб. пособие / Л. Н. Александровская [и др.] М. : Логос, 2004. 280 с.
11. Klyatis Lev M. Accelerated Reliability and Durability Testing Technology. New Jersey : John Wiley & Sons, 2012. 430 p.
12. Надежность технических систем : учеб. пособие для высших учебных заведений / под общ. ред. Е. В. Сугака, Н. В. Василенко. Красноярск : НИИ СУВПТ, 2000. 608 с.

13. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М. : Наука, 2006. 410 с.

14. Перепеловский А. В., Черненко А. Ф. Учетно-аналитическое обеспечение хозяйственных операций по договорам пожизненной ренты и содержания : монография / Российская акад. естествознания. М. : Изд. дом Академии естествознания. 2013. 197 с.

15. Большая советская энциклопедия. М. : Советская энциклопедия. 1969–1978.

16. Ляшков А. А., Завьялов А. М. Семейство поверхностей, заданное формулами преобразования координат, и его огибающая // Инженерный вестник Дона. 2013. № 1. 8 с.

References

1. GOST 24.702–85. *Effektivnost' avtomatizirovannykh sistem upravleniya. Osnovnye polozheniya* [State Standard 24.702-85. The effectiveness of the automated control systems. Fundamentals] Available at: <http://cert.obninsk.ru/gost/554/554.html> (accessed 12.02.2015).

2. Poslavskiy M. A. *Ekonomicheskaya effektivnost' avtomatizatsii upravleniya proizvodstvom v tsvetnoy metallurgii. Diss. kand. ek. nauk* [Cost-effectiveness of automation of production in ferrous metallurgy. PhD econom.sci.diss] St.Petersburg, Gipronikel' Institute Publ, 2006, 176 p.

3. GOST 34.602–89. *Tekhnicheskoe zadanie na sozdanie avtomatizirovannoy sistemy* [State Standard 34.602-89. Terms of Reference for the creation of an automated system] (in Russ.) Available at: http://www.rugost.com/index.php?option=com_content&view=article&id=96:gost-34602-89&catid=22:34&Itemid=53 (accessed 12.02.2015).

4. Kovalev I. V. [Analysis of the problems in the study of the reliability of the software: multi-stage and architectural aspects]. *Vestnik SibGAU*. 2014, No. 3(55), P. 78–92 (In Russ.).

5. Kurochkin Yu. A., Smirnov A. S., Stepanov V. A. *Nadezhnost' i diagnostirovanie tsifrovyykh ustroystv i sistem* [Reliability and diagnostics of digital systems]. St. Petersburg. St. Petersburg University Publ., 1993, 320 p.

6. Kuznetsov P. A., Beschastnaya N. A., Bakhmareva K. K., Antamoshkin O. A., Antamoshkin A. N. [Modification of the Volkovich's-Michalevi`c method to optimize costs in the synthesis of fault-tolerant information systems]. *Vestnik SibGAU*. 2012, No. 6(46), P. 97–100 (In Russ.).

7. Kovalev I. V., Kuznetsov P. A., Zelenkov P. V., Shaydurov V. V., Bakhmareva K. K. [To the question of the reliability of automated control systems with blocking protection modules]. *Pribory*. 2013, Vol. 6. P. 20–24 (In Russ.).

8. Ryabinin I. A. *Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnykh sistem* [Reliability and safety of structural complex systems]. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 2007, 276 p.

9. GOST R 22.10.01–2001. *Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Otsenka ushcherba. Terminy i opredeleniya* [State Standart R 22.10.01-200. Safety in emergencies. Damage assessment. Terms and definitions]. Available at: <http://vsegost.com/Catalog/64/6474.shtml> (accessed 12.02.2015).

10. Aleksandrovskaaya L. N., Aronov I. Z., Kruglov V. I., Kuznetsov A. G., Patrakov N. N., Sholom A. M. *Bezopasnost' i nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Uchebnoe posobie* [Safety and reliability of technical systems. Study guide]. Moscow, Logos Publ., 2004, 280 p.

11. Lev M. Klyatis. *Accelerated Reliability and Durability Testing Technology*. New Jersey. John Wiley & Sons, 2012, 430 p.

12. Sugak E. V., Vasilenko N. V. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Uchebnoe posobie dlya vysshikh uchebnykh zavedeniy* [Reliability of technical systems. Study guide]. Krasnoyarsk, NII SUVPT Publ., 2000, 608 p.

13. Okhtilev M. Yu. Sokolov B. V. *Intellektual'nye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh ob"ektov* [Intelligent technologies for monitoring and management of the structural dynamics of complex technical objects]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 410 p.

14. Perpelovskiy A. V., Chernenko A. F. *Uchetno-analiticheskoe obespechenie khozyaystvennykh operatsiy po dogovorom pozhiznennoy renty i sodержaniya* [Accounting and analytical support for business operations on the life annuity contract and content]. Moscow, Akademiya estestvoznaniya Publ., 2013. 197 p.

15. *Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya* [The Great Soviet Encyclopedia]. Moscow, Soviet entsiklopediya Publ., 1969–1978.

16. Lyashkov A. A., Zav'yalov A. M. [Family of surfaces is given by the coordinate transformation, and its envelope]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013, Vol. 1, 8 p. (In Russ.).