УДК 004.052.2

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МНОГОЭТАПНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Кулягин В.А., Царев Р.Ю., Капулин Д.В., Пупков А.Н., Кукарцев В.В.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: vitalyas86@rambler.ru

Статья посвящена проблеме оценки свойств надежности автоматизированных систем управления предприятием на основных этапах их жизненного цикла. Рассмотрены особенности автоматизированной системы управления предприятием, как объекта исследования, отличающие ее от других систем. Исследование свойств надежности автоматизированных систем управления предприятием наиболее эффективно может быть выполнено при использовании следующих концептуальных моделей: концептуальной модели самой автоматизированной системы управления предприятием, концептуальной схемы пользователей системы, а также концептуальной схемы различных источников отказов автоматизированной системы управления предприятием. Оценка надежности автоматизированных систем управления предприятием выполняется на основе трех показателей надежности: коэффициента функциональной готовности, назначенного ресурса, коэффициента сохранения эффективности. В статье предложена новая концептуальная модель многоэтапной комплексной оценки надежности автоматизированных систем управления предприятием.

Ключевые слова: модель оценки надежности, автоматизированная система управления предприятием, показатели надежности

CONCEPTUAL MODEL OF MULTI-STAGE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF AUTOMATED ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEMS

Kulyagin V.A., Tsarev R.Y., Kapulin D.V., Pupkov A.N., Kukartsev V.V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: vitalyas86@rambler.ru

The article concerns the problem of assessment of the reliability properties of automated enterprise management systems at main stages of its life cycle. It is considered the features of automated enterprise management system that distinguish the system from other ones. The assessment of automated enterprise management systems can be performed in the most efficient way with support of the following conceptual models: a conceptual model of automated enterprise management systems, automated enterprise management system user's conceptual scheme, a conceptual diagram of the various sources of automated enterprise management systems' failures. The system reliability assessment is performed on the base of three parameters of reliability such as coefficient of operational availability, assigned resource, and conservation efficiency factor. The paper presents the developed conceptual model of multi-stage integrated assessment of the reliability of automated enterprise management systems.

Keywords: reliability assessment model, automated enterprise management system, reliability parameters

Внедрение современных технологий на предприятиях характеризуется созданием сложных систем и устройств с высоким уровнем автоматизации, выполняющих интеллектуальные, адаптивные функции управления в космической и авиационной технике, тепловой и атомной энергетике, химической, нефтехимической, нефтегазодобывающей, металлургической, обрабатывающей и других отраслях промышленности и транспорта [5]. Успешное решение задач управления, связанных с повышением эффективности производств, поставило в качестве первоочередной проблему обеспечения высокой надежности таких систем и технических средств. Важность этой проблемы обусловлена возможным ущербом, который может возникнуть в опасных производствах и производствах с большими единичными мощностями [9].

Автоматизированные системы управления предприятиями (АСУП) имеют ряд специфических особенностей, отличающих их от других типов информационных систем:

- Наличие большого количества разнородных элементов (дополнительного оборудования, программ, информации, персонала) требует применения специальных методов оценки параметров надежности соответствующих компонент системы. Эта особенность нашла отражение в предложенных методах оценки надежности для соответствующих типов компонент.
- Также необходимо учитывать, что для подобного типа систем отказ какой-либо отдельной функции не приводит к отказу всей системы, то есть все отказы частичные. Данная особенность учитывается в разработанной математической модели [3].
- Помимо этого, специфичный жизненный цикл таких систем, включающий стадию создания и циклически выполняемые для отдельных секций системы стадии функционирования и модернизации,

предполагает необходимость управления адаптивностью систем как неотъемлемой частью их надежности. Предлагаются методы расчета коэффициента адаптивной надежности и коэффициента функциональной готовности АСУП.

● Непрерывность работы объекта автоматизации предполагает использование показателей надежности по непрерывным функциям. Особенность учитывается в математической модели [3].

Многоэтапная комплексная оценка надежности автоматизированных систем управления предприятиями

Для оценки надежности систем рассматриваемого класса в дополнении к математической модели, рассмотренной в [3], была разработана концептуальная модель оценки надежности при частичных отказах. Особенность данной модели заключается в следующем:

1. Многоэтапность – модель охватывает все этапы жизненного цикла автоматизированной системы управления предприятием. На каждом этапе выполняется уточнение параметров надежности за счет информации, полученной на предыдущих этапах.

2. Единство показателей надежности – на каждом этапе жизненного цикла системы применяются одни и те же показатели надежности. Таим образом, можно контролировать значения показателей от этапа к этапу, чтобы они не выходили за заданные пределы.

3. Комплексность – оценка надежности в соответствии с моделью выполняется с учетом разнородности составляющих АСУП компонентов: программного, технического, информационного, эргономического обеспечения.

Для анализа надежности автоматизированной системы управления предприятием использовались структурные методы, основанные на представлении системы в виде структурно-функциональной схемы [8]. Общая надежность системы расчитывается на основании данных о надежности элементов, входящих в систему (рис. 1).

В системе присутствуют такие объекты, как пользователи. Каждый пользователь имеет автоматизированное рабочее место (АРМ), состоящее из программного (ПО), аппаратного (АО), информационного (ИО) и эргономического (ЭО) обеспечения АСУП. Каждый пользователь входит в отдел предприятия, оснащенный серверным программным обеспечением (ПО) и серверным оборудованием (АО). АСУП делится на программные модули по типам выполняемых функций. Каждый пользователь может работать более чем с одним модулем, один модуль может вызываться более чем одним пользователем.

Каждый пользователь i работает с программными модулями j АСУП в соответствии с матрицей переходов Марковского процесса, в котором состояния J – номера программных модулей, $(F + 1)$ – состояние, характеризующееся отсутствием признаков работы в АСУП данного пользователя [2] (рис. 2).

Выполнение программного модуля определенным пользователем называется операцией. Операции считаются независимыми друг от друга. Вероятности перехода пользователя из одного состояния в другое – матрицей (рис. 3).

Рис. 1. Концептуальная модель АСУП

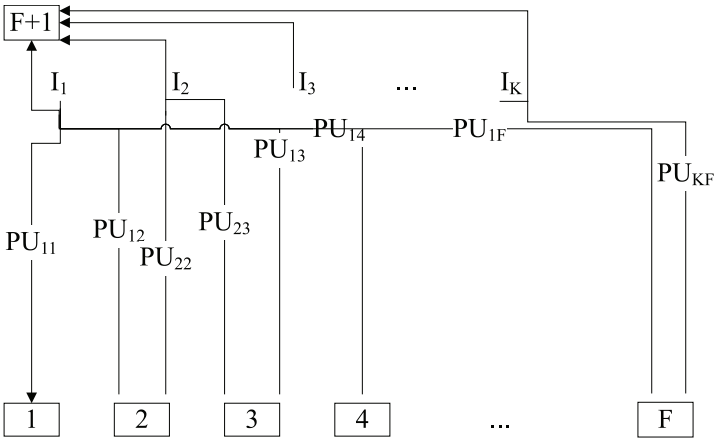

Рис. 2. Схема работы пользователей АСУП

$$\begin{pmatrix} P_{11}^T & P_{12}^T & P_{13}^T & \cdots & P_{1F+1}^T \\ P_{21}^T & P_{22}^T & P_{23}^T & \cdots & P_{2F+1}^T \\ P_{31}^T & P_{32}^T & P_{33}^T & \cdots & P_{3F+1}^T \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{F+11}^T & P_{F+12}^T & P_{F+13}^T & \cdots & P_{F+1F+1}^T \end{pmatrix}$$

Рис. 3. Матрица переходов пользователя i

Отсюда рассчитываются финальные вероятности состояний PU_{ij}.

Концептуальная схема надежности автоматизированных систем управления предприятиями, учитывающая различные источники отказов, представлена на рис. 4.

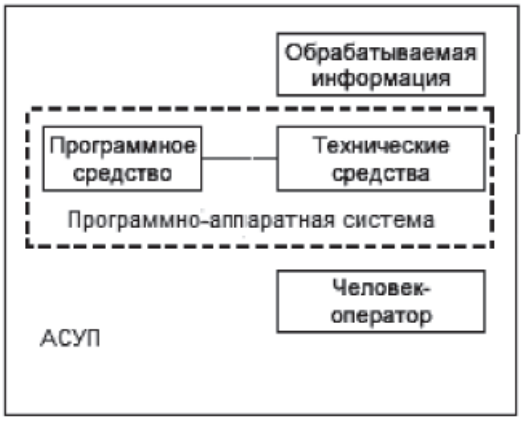

Рис. 4. Концептуальная схема различных источников отказов в АСУП

Применение схемы позволяет выделить следующие источники отказов:

– в программном обеспечении – проявление в ПО ошибки, которая ранее не была обнаружена и возникла при каком-то конкретном сочетании исходных данных и команд, соответствующих спецификации [1, 7];

– в аппаратном обеспечении – возникновение отказов (сбоев) в ТС: компьютерных комплектующих, внешних устройствах [8];

– в информационном обеспечении – отказы возникают во входных данных, которые искажают результат работы АСУП [4];

– в эргономическом обеспечении – возникновение отказа из-за ошибки персонала (человека-оператора), которая искажает результат работы АСУП [6].

Для оценки надежности на каждом этапе АСУП выбраны показатели надежности (коэффициент сохранения эффективности, назначенный ресурс, коэффициент функциональной готовности), охватывающие свойства безотказности, ремонтопригодности, долговечности АСУП.

Коэффициент сохранения эффективности АСУП за некоторый интервал времени t:

$$K_{\text{СЭ_АСУП}\,t} = \frac{\sum_i \left(\sum_{j=1}^{F} PU_{ij} \cdot Э_{\text{р}ij} \right)}{\sum_i \left(\sum_{j=1}^{F} PU_{ij} \cdot Э_{\text{н}ij} \right)}; \quad (1)$$

$$Э_{\text{н}ij} = N_{\text{оп}ij} \cdot r_{ij}; \quad (2)$$

$$Э_{\text{р}ij} = Э_{\text{н}ij} \cdot K_{\text{г}ij} + Э_{\text{н}ij} \cdot \sum_l \left(1 - K_{\text{Г}ijl}\right) \cdot \text{КСЭ}_{ijl}; \quad (3)$$

$$S_{ij} = \frac{T_{\text{отк}_ij}}{T_{\text{отк}_ij} + T_{\text{вос}_ij}}; \quad (4)$$

$$T_{\text{отк}_ij} = \frac{1}{\lambda_{\text{ПМ}_j} + \lambda_{\text{ДО}_ij} + \lambda_{\text{СПО}i} + \lambda_{\text{ИО}_ij} + \lambda_{\text{ОС}_i} + \lambda_{\text{АО}_i} + \lambda_{\text{ЛС}_i} + \lambda_{\text{ГС}_i} + \lambda_{\text{ЭО}_i}}; \quad (5)$$

$$S_{\text{АСУП}} = \frac{\sum_i \sum_j T_{\text{отк}_ij}}{\sum_i \sum_j T_{\text{отк}_ij} + T_{\text{вос}_ij}}, \qquad (6)$$

где $Э_{рij}$ – реальная эффективность работы i-го пользователя с j-м модулем (количество обрабатываемой информации за время t); $Э_{нij}$ – номинальная эффективность работы i-го пользователя с j-м модулем (количество обрабатываемой информации за время t); $N_{опij}$ – кол-во операций, совершаемых пользователем i над модулем j в единицу времени t; R_{ij} – кол-во байт информации в одной операции; $К_{СЭijl}$ – коэффициент сохранения эффективности для i-го пользователя в j-м модуле при l-м частичном отказе; S_{ij} – коэффициент готовности j-го компонента для i-го пользователя; S_{jl} – коэффициент готовности системы для i-го пользователя в j-м модуле при l-м частичном отказе.

Показатель долговечности для элемента АСУП – назначенный ресурс ($T_р$), представляющий собой суммарную наработку, после которой эксплуатация системы должна быть прекращена.

Коэффициент функциональной готовности АСУП:

$$K_A = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \qquad (7)$$

где T_0 – среднее время между функциональными отказами; T_B – среднее время восстановления после функциональных отказов [4].

Для оценки надежности АСУП разработана концептуальная модель комплексной оценки надежности на всех этапах жизненного цикла [10] в виде модели IDEF0 (рис. 5).

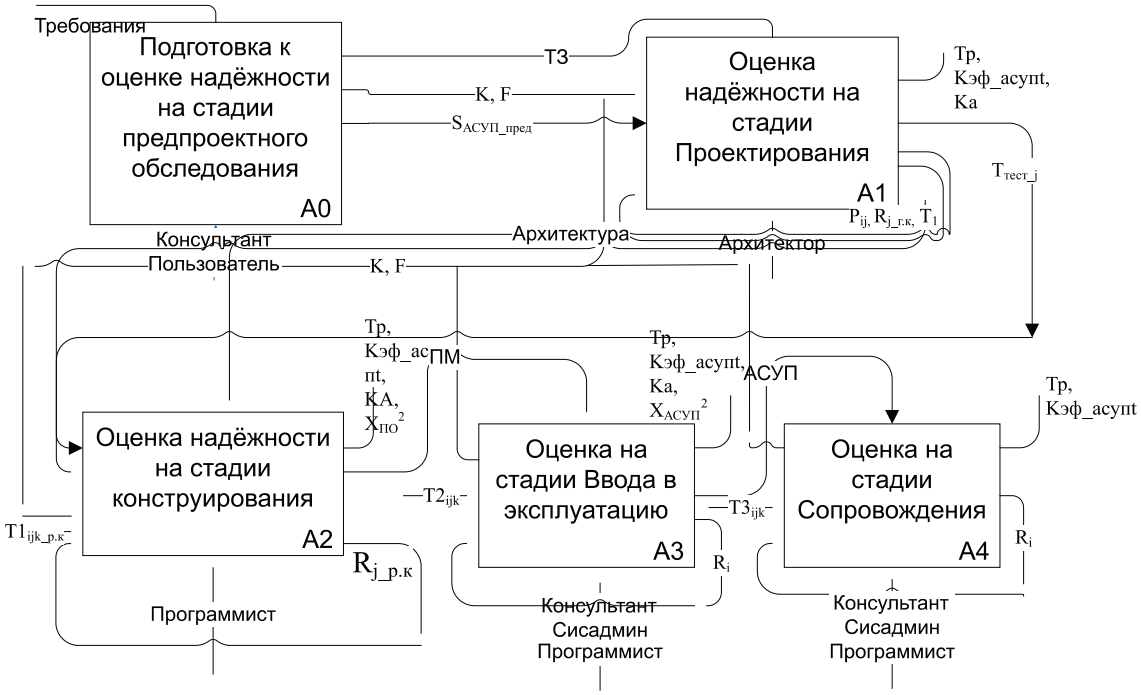

Рис. 5. Концептуальная схема оценки надежности на всех этапах жизненного цикла АСУП

Обозначения:

$T_{тест_j_р.к}$ – расчетное время тестирования разрабатываемых программных компонент на стадии проектирования;

$T1_{ijк_р.к}$ – время между появлениями отказов в программных компонентах на стадии тестирования;

$T2_{ijк}$ – время между появлениями отказов в модулях на стадии ввода в эксплуатацию;

$T3_{ijк}$ – время между появлениями отказов в модулях на стадии сопровождения;

X^2 – адекватность модели.

Предложенная концептуальная модель описывает входы, выходы, управляющие воздействия, исполнителей на этапах жизненного цикла АСУП.

Заключение

Несмотря на то, что на текущий момент предложено множество моделей и методов оценки надежности систем управления предприятием, можно констатировать отсутствие единого подхода к оценке показателей надежности. В данной работе предложена концептуальная модель комплексной оценки надежности автоматизированной системы управления предприятиями на всех этапах ее жизненного цикла. Разработанная модель позволяет рассчитать основные показатели надежности АСУП, в частности коэффициент сохранения эффективности, срок службы, а также коэффициент функциональной готовности системы. Потенциальной областью применения концептуальной модели многоэтапной комплексной оценки надежности являются автоматизированные системы управления предприятиями, применяемые в критичных областях производства.

Список литературы

1. Буторов В.В. Оценка надежности клиент-серверных приложений корпоративной системы управления предприятием / В.В. Буторов, С.В. Тынченко, Р.Ю. Царев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5. – Ч. 3. – С. 488–492.

2. Зейфман А.И. Марковские цепи и модели с непрерывным временем / А.И. Зейфман, В.Е. Бенинг, И.А. Соколов. – М.: Элекс-КМ, 2008. – 168 с.

3. Кулягин В.А. Модель оценки надежности автоматизированных систем управления предприятием на основе статических вероятностей компонент // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 3 (43) – С. 33–37.

4. Опарина Н.М. Надежность информационных систем. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 126 с.

5. Разработка высоконадежных интегрированных информационных систем управления предприятием: монография / Д.В. Капулин, Р.Ю. Царев, О.В. Дрозд, А.С. Черниговский. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2015. – 174 с.

6. Смагин В.А. Основы теории надежности программного обеспечения / В.А. Смагин, А.Н. Дорохов. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2009. – 304 с.

7. Царев Р.Ю. К проблеме оценки надежности сложных программных систем / Р.Ю. Царев, А.В. Штарик, Е.Н. Штарик // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 33–47.

8. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.

9. Шкляр В.Н. Надежность систем управления. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.

10. Ian Sommerville. Software Engineering. – 8-th edition, USA: Pearson education limited, 2007. – 868 p.

References

1. Butorov V.V., Tynchenko S.V., Tsarev R.Yu. *Ocenka nadezhnosti klient-servernyh prilozhenij korporativnoj sistemy upravlenija predprijatiem* [Estimation of the reliability of client-server aplications for a corporate enterprise management system]. Fundamental research, 2015, vol. 5, no. 3, pp. 488–492.

2. Zejfman A.I., Bening V.E., Sokolov I.A. *Markovskie cepi i modeli s nepreryvnym vremenem* [Markov chains and continuous-time models]. M.: Elex-KM, 2008, 168 p.

3. Kuljagin V.A. *Model ocenki nadezhnosti avtomatizirovannyh sistem upravlenija predprijatiem na osnove staticheskih verojatnostej komponent* [Model for assessment of the reliability of automated enterprise management systems based on statistic probability of components]. Bulletin *SibGAU*, 2012, no. 3, pp. 33–37.

4. Oparina N.M. *Nadjozhnost informacionnyh system* [Reliability of information systems]. Khabarovsk: Far Eastern State Transport University, 2007, 126 p.

5. Kapulin D.V., Tsarev R.Yu., Drozd O.V., Chernigovskiy A.S. *Razrabotka vysokonadezhnyh integrirovannyh informacionnyh sistem upravlenija predprijatiem* [Development of highly reliable integrated information systems for enterprise management]. Krasnojarsk: Siberian Federal University, 2015, 174 p.

6. Smagin V.A., Dorohov A.N. *Osnovy teorii nadezhnosti programmnogo obespechenija* [Basic theory of the software reliability]. Sankt-Peterburg: Baltic State Technical University, 2009, 336 p.

7. Tsarev R.Yu., Shtarik A.V., Shtarik E.N. *K probleme ocenki nadezhnosti slozhnyh programmnyh sistem* [Toward the problem of estimation of the complex software system reliability]. Journal of Siberian Federal University. Series: Engineering & Technologies, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 33–47.

8. Cherkesov G.N. *Nadezhnost apparatno-programmnyh kompleksov* [The reliability of software and hardware]. Sankt-Peterburg: Piter, 2005, 479 p.

9. Shkljar V.N. *Nadezhnost sistem upravlenija* [The reliability of control systems]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2009, 126 p.

10. Ian Sommerville. Software Engineering, 8-th edition, USA: Pearson education limited, 2007, 868 p.

Рецензенты:

Носков М.В., д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора по научной работе Института космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;

Ченцов С.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Системы автоматики, автоматизированное управление и проектирование», Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.