

В. Н. Рудницький, *д.т.н., профессор*,
e-mail: rvn_2008@ukr.net

В. Г. Деткин, *к.т.н., доцент*,
e-mail: ded@nensi.net

Н. В. Хрулев, *к.т.н., доцент*,
e-mail: hrulev@ukr.net

Г. В. Кривоус, *заведуючий лабораторіями*
e-mail: krivous_gv@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченко, 460, Черкаси, 18006, Україна

ФУНКЦИИ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены вопросы синтеза структуры системы комплексного контроля вычислительных процессов. Определены условия исправного состояния вычислительного процесса. Для интеллектуализации контроля вычислительного процесса предлагается использовать нейронную сеть с ансамблевой организацией, что позволит не только обнаружить сбой правильного выполнения вычислительного процесса, но и определить причины и место сбоя, выполнить анализ причин, вызвавших сбой, спрогнозировать поведение вычислительного процесса во времени. Синтез структуры системы предлагается выполнить на основе функционально-структурного подхода, предложенного в работах Е. П. Балашова. В результате декомпозиции целевой функции формируется дерево функций, которое определяет основные показатели системы комплексного контроля вычислительных процессов, такие как производительность, надежность, функциональность, и оказывает первоочередное влияние на структуру. Приведены результаты синтеза структуры системы комплексного контроля вычислительных процессов на основе предложенного дерева функций.

Ключевые слова: вычислительный процесс, контроль, дерево функций, функционально-структурный подход, структура, нейронная сеть.

Постановка проблемы. С расширением сферы применения компьютеров возрастает цена сбоев в их работе, особенно в областях, связанных с потенциальной угрозой техногенных катастроф, промышленном производстве, банковской сфере.

Известны методы и средства диагностирования и отладки цифровых и микропроцессорных систем [1–5], позволяющие обнаруживать неисправности как аппаратного, так и программного обеспечения.

С другой стороны, на структурные, схематехнические и программные решения систем комплексного контроля выполнения вычислительного процесса существенное влияние оказывают уровень развития микроэлектроники, информационных технологий, нейросетевые технологии [6–10].

Применение нейросетевых технологий в системах комплексного контроля вычислительных процессов позволит интеллектуализировать контроль и диагностику вычисли-

тельных процессов, получить новые, ранее недоступные свойства системы [7–10].

Таким образом, проблема создания систем комплексного контроля вычислительных процессов, соответствующих современным требованиям, актуальна и представляет определенный научный и практический интерес.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблемы, направления и перспективы развития микроэлектроники рассмотрены в [6]. Принципы построения автоматизированных систем технического обслуживания сложных объектов радиоэлектронной техники исследованы в [1]. Конструкционные и функциональные аспекты некоторых систем диагностирования электронных модулей описаны в [2, 3]. Методы и средства диагностирования и отладки цифровых и микропроцессорных систем приведены в [4, 5]. Нейронные сети с ансамблевой организацией рассмотрены в [7, 8]. Функции и структура нейросетевого модуля для использования в

системах ЧПУ описаны в [10]. Теоретические вопросы отладки, контроля и диагностирования, а также технические средства отладки, контроля и диагностирования рассмотрены в [11–13]. Методология синтеза систем на основе функционально-структурного подхода рассмотрена в [14].

Цель статьи. Целью данной статьи является синтез, на основе функционально-структурного подхода [14], структуры системы комплексного контроля вычислительных процессов, что позволит выполнить разработку схемотехнических и программных решений разрабатываемой системы.

Изложение основного материала. Ход выполнения вычислительного процесса отображается на системной шине. Представим его в следующем виде:

$$P = \langle A, D, C, T \rangle,$$

где P - вычислительный процесс;

A - множество состояний шины адреса;

D - множество состояний шины данных;

C - множество состояний шины управления;

T - множество значений времени выполнения операций вычислительного процесса.

Совокупность значений A , D , C и T представляет собой некоторое событие $EV = f(A, D, C, T)$. Вычислительный процесс отображается на системной шине в виде последовательности таких событий - трассы вычислительного процесса.

Наблюдая за трассой, можно обнаружить нарушение исправного выполнения вычислительного процесса.

Для контроля исправного выполнения вычислительного процесса определим допустимые значения события $EV = f(A, D, C, T)$. Тогда, в случае выхода одного или нескольких параметров за пределы допустимых значений, можно сделать вывод о нарушении исправного выполнения вычислительного процесса.

Событие $EV = f(A, D, C, T)$ можно рассматривать как состоящее из элементарных событий:

$$EV = EV_A + EV_D + EV_C;$$

где $EV_A = f(A, T)$ - событие шины адреса;

$EV_D = f(D, T)$ - событие шины данных;

$EV_C = f(C, T)$ - событие шины управления.

Исправное состояние вычислительного процесса характеризуется допустимыми значениями элементарных событий $EV_A = f(A)$,

$EV_D = f(D)$, $EV_C = f(C)$ и, соответственно, обобщающего события $EV = f(A, D, C, T)$.

Из вышесказанного следует, что правильный вычислительный процесс характеризуется некоторым множеством допустимых состояний шины адреса $A_{доп}$, которое определяется расположением кода исполняемой программы и данных в памяти компьютера, некоторым множеством допустимых состояний шины данных $D_{доп}$, некоторым множеством допустимых состояний шины управления $C_{доп}$.

Для определения соответствия $EV = f(A, D, C, T)$ допустимым $A_{доп}$, $D_{доп}$ и $C_{доп}$ в определенные моменты времени T можно применить известные решения [3, 5, 11–13], которые обеспечат быстрое действие, необходимое для наблюдения процессов на системной шине.

Для интеллектуализации контроля исправного выполнения вычислительного процесса предлагается использовать нейронную сеть с ансамблевой организацией [7, 8].

Использование нейронной сети позволит не только обнаружить сбой вычислительного процесса, но и определить причины и место сбоя, выполнить анализ причин, вызвавших сбой, спрогнозировать поведение вычислительного процесса во времени.

В соответствии с функционально-структурным подходом [9] структурная организация системы комплексного контроля вычислительных процессов должна соответствовать ее функциональному назначению и условиям эксплуатации.

Представим систему комплексного контроля вычислительных процессов в виде математического описания:

$$S_{ics}(F_0) = \langle M_1(F_1), \dots, M_i(F_i) \rangle, \quad (1)$$

где S_{ics} - разрабатываемая система комплексного контроля (integrated control system) вычислительных процессов;

$M_1(F_1)$ - первый модуль системы, реализующий набор функций F_1 ;

$M_i(F_i)$ - i -й модуль системы, реализующий набор функций F_i .

Каждый модуль, в свою очередь, может быть представлен в виде математического описания, аналогичного (1), в соответствии с заданным деревом функций.

В соответствии с методологией функционально-структурного подхода [9] и на ос-

нове анализа технических материалов [1–5,7,13] сформируем дерево функций системы.

Функции 1-го уровня определяют основные показатели системы комплексного контроля вычислительных процессов, такие как производительность, надежность, функциональность, и оказывают первоочередное влияние на структуру системы комплексного контроля вычислительных процессов.

Дополнительные функции 2-го уровня расширяют функциональность системы. В данной статье ограничимся рассмотрением дерева функций 1-го уровня, поскольку они в первую очередь определяют структуру разрабатываемой системы.

Уровень 0. Целевая функция

F₀ – функционирование системы комплексного контроля вычислительных процессов с целью определения состояния вычислительного процесса и получения информации о сбое вычислительного процесса, а также выполнения прочих вспомогательных функций.

Функции уровня 1

Сформулируем функции уровня 1 системы диагностирования электронных модулей.

F₁ – функция сопряжения системы комплексного контроля с системной шиной объекта диагностирования.

F₂ – функция управления структурными модулями.

F₃ – функция информационного обмена с управляющим компьютером.

F₄ – функция цифровой обработки диагностической информации.

F₅ – функция интеллектуальной обработки диагностической информации.

F₇ – функция обнаружения и анализа сбоев вычислительного процесса.

Для реализации предложенного дерева функций система комплексного контроля вычислительных процессов должна состоять из следующих модулей (рис. 1):

M₁ – модуль сопряжения системы комплексного контроля с системной шиной объекта диагностирования;

M₂ – модуль управления;

M₃ – модуль обмена информацией с управляющим компьютером;

M₄ – модуль цифровой обработки диагностической информации;

M₅ – нейросетевой модуль интеллектуальной обработки диагностической информации;

M₆ – нейросетевой модуль обнаружения и анализа сбоев вычислительного процесса.

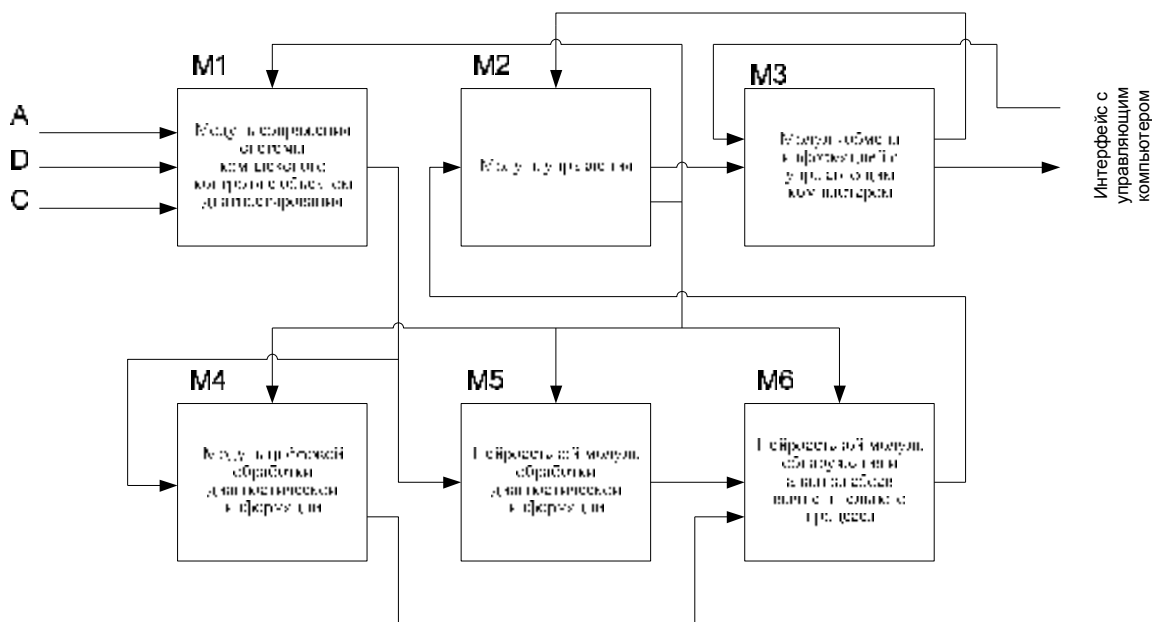


Рис. 1. Структура системы комплексного контроля выполнения вычислительных процессов

Выводы. Определены условия, определяющие исправное состояние вычислительного процесса.

Для интеллектуализации контроля вычислительного процесса предложено использовать нейронную сеть с ансамблевой организацией, что позволит не только обнаружить сбой правильного выполнения вычислительного процесса, но и определить причины и место сбоя, выполнить анализ причин, вызвавших сбой, спрогнозировать поведение вычислительного процесса во времени.

Сформировано дерево функций, на основе которого выполнен синтез структуры системы комплексного контроля вычислительного процесса, что позволит выполнить разработку схмотехнических и программных решений системы комплексного контроля выполнения вычислительных процессов.

Список литературы

1. Ленков С. В., Пашков С. А., Цыцарев В. Н., Березовская Ю. В. Автоматизированная система технического обслуживания сложного объекта радиоэлектронной техники: принципы построения. *Системи озброєння і військова техніка*: наук. журн. Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2015. № 1 (41). С. 124–131.
2. Вакаренко А. В., Наконечний В. С., Голуб В. А., Матішєн Р. В. Конструкційні та функціональні аспекти вітчизняної апаратури для діагностування і ремонту електронних модулів зенітних ракетних комплексів. *Системи озброєння і військова техніка*: наук. журн. Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 2010. № 1 (21). С. 44–47.
3. Рудаков К. С., Деткин В. Г., Хрулёв Н. В., Титоренко И. С. Функции и структура специализированного диагностического процессора. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2009. № 3. С. 8–11.
4. Деткин В. Г., Хрулёв Н. В. Методы комплексного контроля вычислительных процессов. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2006. № 1. С. 76–79.
5. Уильямс Г. Б. Отладка микропроцессорных систем. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 253 с.
6. Коваленко А. А., Петропавловский М. Д. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва: Изд. центр «Академия», 2006. 240 с.
7. Гольцев А. Д. Нейронные сети с ансамблевой организацией. Киев: Наукова думка, 2005. 200 с.
8. Куссуль Э. М. Ассоциативные нейродобные структуры АН Украины. Ин-т кибернетики. Киев: Наукова думка, 1992. 140 с.
9. Vega A., Baidyk T., Kussul E., Pérez Silva J. L. Digital implementation of LIRA Neural Classifier. *Proceedings of the 1st international congress on instrumentation and applied sciences*, October 2010. URL: <http://somi.ccadet.unam.mx/icias2010/memorias/31>
10. Рудницький В. Н., Хрулёв Н. В., Бабенко В. Г. Функции и структура нейросетевого модуля системы ЧПУ. *Системи обробки інформації*: зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил. Харків, 2012. Вип. 2 (100). С. 96–100.
11. Strunz Bob. Design for testability in digital integrated circuits. Bob Strunz, Colin Flanagan, Tim Hall University of Limerick, Ireland. URL: http://www.cs.colostate.edu/~cs530/digital_testing.pdf
12. Зинченко Ю. Е. Методы и средства встроенного тестового диагностирования специализированных устройств сетей передачи данных реального времени: диссертация. Киев: ИПМЭ, 1989. 208 с.
13. Иванов Ю. П., Никитин В. Г., Чернов В. Ю. Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов: учеб. пособ. Санкт-Петербург, 2004. 98 с.
14. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем. Москва: Радио и связь, 1985. 328 с.

References

1. Lenkov, S. V., Pashkov, S. A., Tsyt-sarev, V. N., Berezovs'kaya, Yu. V. (2015) Automated system of servicing maintenance of a complex object of radioelectronic engineering: principles of construction. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*: nauk. zhurn. Kharkiv: Kharkivskiy universytet Povitri-anykh Syl imeni Ivana Kozheduba, No. 1 (41), pp. 124–131 [in Russian].

2. Vakarenko, A. V., Nakonechnyi, V. S., Holub, V. A., Matiishen, R. V. (2010) Structural and functional aspects of domestic equipment for diagnostics and repair of electronic modules of anti-aircraft rocket complexes. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika: nauk. zhurn.* Kharkiv: Kharkivskiy universytet Povitrianykh Syl imeni Ivana Kozheduba, No. 1 (21), pp. 44–47 [in Ukrainian].
3. Rudakov, K. S., Detkin, V. G., Khrulov, N. V., Titorenko, I. S. (2009) Functions and structure of specialized diagnostic processor. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 8–11 [in Russian].
4. Detkin, V. G., Khrulov, N. V. (2006) Methods of complex control of computational processes. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky*, No. 1, pp. 76–79 [in Russian].
5. Uil'yams, G. B. (1988) Debugging of microprocessor systems. Moscow: Energoatomizdat, 253 p.
6. Kovalenko, A. A., Petropavlovskiy, M. D. (2006) Fundamentals of microelectronics. Moscow: Izd. tsentr «Akademiya», 240 p. [in Russian].
7. Gol'tsev, A. D. (2005) Neural networks with ensemble organization. Kiev: Naukova dumka, 200 p. [in Russian].
8. Kussul', E. M. (1992) Associative neurosimilar structures of Academy of Science of Ukraine. In-t of cybernetics. Kiev: Nauk. dumka, 140 s. [in Russian].
9. Vega, A., Baidyk, T., Kussul, E., Pérez Silva, J. L. (2010) Digital implementation of LIRA Neural Classifier. *Proceedings of the 1st international congress on instrumentation and applied sciences*, October. URL: <http://somi.ccadet.unam.mx/icias2010/memorias/31>
10. Rudnitskiy, V. N., Khrulov, N. V., Babenko, V. G. (2012) Functions and structure of neuronet module of numerical program control system. *Systemy obrobky informatsii: zb. nauk. prats Kharkivskoho universitetu Povitrianykh Syl.* Kharkiv, vyp. 2 (100), pp. 96–100 [in Russian].
11. Strunz, Bob. Design for testability in digital integrated circuits. Bob Strunz, Colin Flanagan, Tim Hall University of Limerick, Ireland. URL: http://www.cs.colostate.edu/~cs530/digital_testing.pdf
12. Zinchenko, Yu. Ye. (1989) Methods and means of built-in testing in specialized devices of networks for data transfer in real time: thesis. Kiev: IPME, 208 p. [in Russian].
13. Ivanov, Yu. P., Nikitin, V. G., Chernov, V. Yu. (2004) Control and diagnostics of measuring-calculating complexes. St. Petersburg, 98 p.
14. Balashov, Ye. P. (1985) Evolutional synthesis of systems. Moscow: Radio i svyaz', 328 p.

V. M. Rudnytskyi, *D.Tech.Sc., professor*,
e-mail: rvn_2008@ukr.net

V. G. Detkin, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: ded@nensi.net

N. V. Khrulev, *Ph.D., associate professor*,
e-mail: hrulev@ukr.net

G. V. Krivous, *head of laboratories*
e-mail: krivous_gv@gmail.com

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

FUNCTIONS AND STRUCTURE OF THE SYSTEM OF COMPLEX CONTROL OF COMPUTING PROCESSES

The problems of the synthesis of the structure of computational processes complex control system are considered. The conditions for the correct execution of computational process are determined. To intellectualize the control of computational process, it is proposed to use a neural network with ensemble organization that will allow not only to detect the failure of computational process correct execution, but also to determine causes and location of the failure, to analyze causes of the failure,

and to predict the behavior of computational process in the time. It is offered to perform the system structure synthesis on the basis of functional-structural approach proposed in the works of E. P. Balashov. As a result of objective function decomposition, the function tree is formed. This function tree determines the main parameters of the system of computational processes complex control, such as performance, reliability, functionality, and has a primary impact on the structure. The results of the synthesis of the structure of computational processes complex control system on the basis of the proposed function tree are presented.

Keywords: *computational process, control, function tree, functional-structural approach, structure, neural network.*

Статтю представляє В. М. Рудницький, д.т.н., професор.