

УДК 681.518:658.562

С.К. Киселев, Р.Н. Хисамов

ФОРМАЛИЗАЦИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМАМ АВИОНИКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ТЕСТОВ

Киселев Сергей Константинович, доктор технических наук, начальник Управления информатизации УлГТУ, профессор кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Закончил Ульяновский политехнический институт по специальности «Авиаприборостроение». Область научных интересов – разработка методов, моделей, алгоритмов, оборудования для автоматизации производства, диагностики, тестирования авиационных приборов, организация НИР и ОКР. Имеет монографии, большое число статей и патентов в области приборостроения. [e-mail: ksk@ulstu.ru].

Хисамов Ренат Наилевич, магистрант Ульяновского государственного технического университета. Имеет степень специалиста по направлению «Приборостроение», инженер-методист ЗАО ЦНТУ «Динамика». Область научных интересов – автоматизация диагностики и тестирования авиационного оборудования, разработка методов предоставления информации. [e-mail: rens89@mail.ru].

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы автоматизации разработки тестов для систем авионики. Автоматизацию разработки тестов предлагается проводить на основе формализации и моделирования требований к ним. Использование в изделии готовых модулей «Off-the-shelf» ускоряет процесс проектирования, но накладывает более жесткие требования к разработке и управлению требованиями на изделие, которые служат основой для планирования, управления, приемочного тестирования, корректировки изделия. На классической V-модели формирования требований при реализации сложного проекта показано, что требования тесно связаны с тестированием, которое направлено на выявление и предотвращение дефектов в системе, при этом дефект рассматривается как отклонение от требований. Приведен пример формализации и моделирования требований по отображению кадра пилотажной информации в комплексной системе электронной индикации и сигнализации. Исходя из полученной модели и формального представления требований составлена структура конечного теста для системы. Предложенный подход позволяет сократить время на тестирование и отладку системы, повысить ее качество в смысле большего соответствия требованиям.

Ключевые слова: моделирование, системные требования, тестирование, формализация, программа функционирования.

FORMALIZATION AND MATHEMATICAL MODELING OF THE AVIONICS SYSTEMS REQUIREMENTS FOR AUTOMATION OF TEST DESIGN

Sergey Konstantinovich Kiselev, Doctor of Engineering, Head of IT Department at Ulyanovsk State Technical University, Professor at the Department of Measuring Computer Systems; graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute with a specialty in Aircraft Instruments Engineering; research interests include development of methods, models, algorithms, equipment for automation, diagnostics, testing aircraft instruments and systems, R & D organization; an author of monographs, a large number of papers and patents in the field of instrumentation. e-mail: ksk@ulstu.ru.

Renat Nailevich Khisamov, Post-Graduate Student at Ulyanovsk State Technical University; graduated with a specialist's degree in Instruments Engineering, an engineer of Dynamics CSTY; research interests include automation of diagnosis and testing of aircraft equipment, methods of providing information. e-mail: rens89@mail.ru.

Abstract

The article deals with the automation of test design for avionics systems. The automation of test design is proposed to be made on the basis of formalization and modeling of the requirements for them. The design process accelerates when using off-the-shelf modules in the product, but their use imposes more stringent requirements for the product requirement design and management, which are the basis for the product planning, management, acceptance testing, and adjusting. Based on the classical V-model for product definition within complex projects, the paper shows that the requirements are closely related to testing, which is directed at defects identifying and avoidance in the system, at this, the defect is regarded as a deviation from the requirements. The article gives an example for formalization and modeling of the requirements for aerobatic display frame information in an integrated system of electronic display and alarm. Based on the resulting model and the formal

submission of the requirements the structure of the final test for the system is compiled. The proposed approach allows us to reduce time for testing and debugging the system, improve its quality in the sense of greater compliance.

Key words: modeling, system requirements, testing, formalization, program of operation.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость сокращения сроков разработки новых изделий со встроенным программным обеспечением требует новых подходов к реализации таких проектов. Одним из используемых подходов является, например, использование в изделии готовых модулей «Off-the-shelf». Благодаря данной технологии значительно сокращаются сроки и затраты на реализацию проекта, но, очевидно, что при этом не должно снижаться качество изделия. Качество изделия обеспечивается через разработку и управление требованиями к нему. Составление полных и корректных требований является ответственным и трудоемким процессом. При этом особенно важна согласованность требований, которые служат основой для планирования, управления, приемочного тестирования, корректировки изделия.

Разработка требований не является обособленной фазой в жизненном цикле изделия, которая выполняется и заканчивается в начале разработки. Разработка требований как процесс играет важную роль на каждом этапе жизни проекта. Рассмотрим, например, заключительную фазу проекта – приемочные испытания. На вопрос «в соответствии с чем должны выполняться приемочные испытания?» есть ответ – «в соответствии с пользовательскими требованиями». Таким образом, очевидно, что требования, разработанные в самом начале проекта, используются на этапе завершения разработки [1]. Определение полноты и корректности реализации требований на различных стадиях выполнения проекта определяется путем проведения различных тестовых процедур. Поэтому для разработки тестов необходимо использовать всю информацию, которая присутствует в требованиях. При этом требования, как правило, представлены в текстовой, описательной форме, а для тестов необходима уже формализованная, структурированная и логически непротиворечивая информация. Считается, что в настоящее время сложность разрабатываемых программ подошла к границе их управляемости, поэтому число ошибок в разработанных и сданных заказчику системах постоянно растет [2]. Особенно подвержены ошибкам системы со сложными параллельными, распределенными, многопоточными алгоритмами обработки информации, характерными для систем управления. Именно такие алгоритмы и программы по-

лучают сейчас все большее распространение – например, во встраиваемых системах управления в автомобильной и авиационной промышленности, очень критичных к требованиям безопасности. Разработка программно-аппаратных комплексов для реализации тестирования и систем тестов для них представляет значительные сложности [3].

РАБОТА С ТРЕБОВАНИЯМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРОЕКТА

Рассмотрим классическую V-модель формирования требований при реализации сложного проекта [4]. Данная модель описывает различные стадии проекта, отображает связь между требованиями и тестированием. V-модель также отображает системную разработку в терминах уровней (layers), где каждый уровень соотносится с определенным этапом разработки. Несмотря на то, что на каждом уровне могут быть использованы несколько различных процессов, основной принцип работы с требованиями не изменяется.

Согласно данной модели, требования тесно связаны с тестированием. Тестирование – это любое действие, направленное на выявление и предотвращение дефектов в системе, где дефект понимается как отклонение от требований.

Проверка должна начинаться как можно раньше, так как откладывание тестирования до конца разработки может привести к значительным расходам и последующей необходимости внесения изменений в спецификации и переделке системы в случае обнаружения даже незначительной ошибки. Проверка начинается на этапе разработки спецификаций системы (design) и состоит в рецензировании требований, инспекции спецификаций и применении различных форм моделирования системы [1].

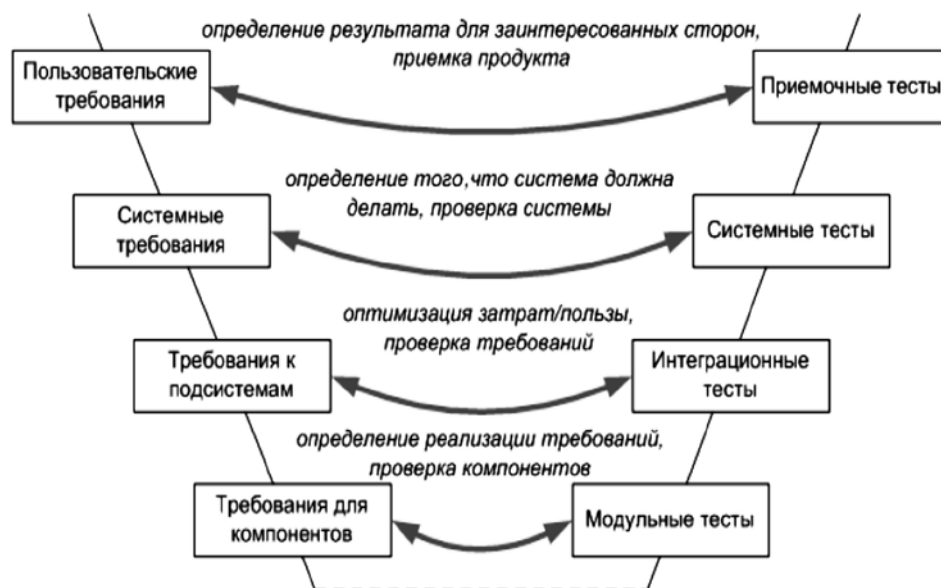


Рис. 1. V-модель работы с требованиями при реализации сложного проекта

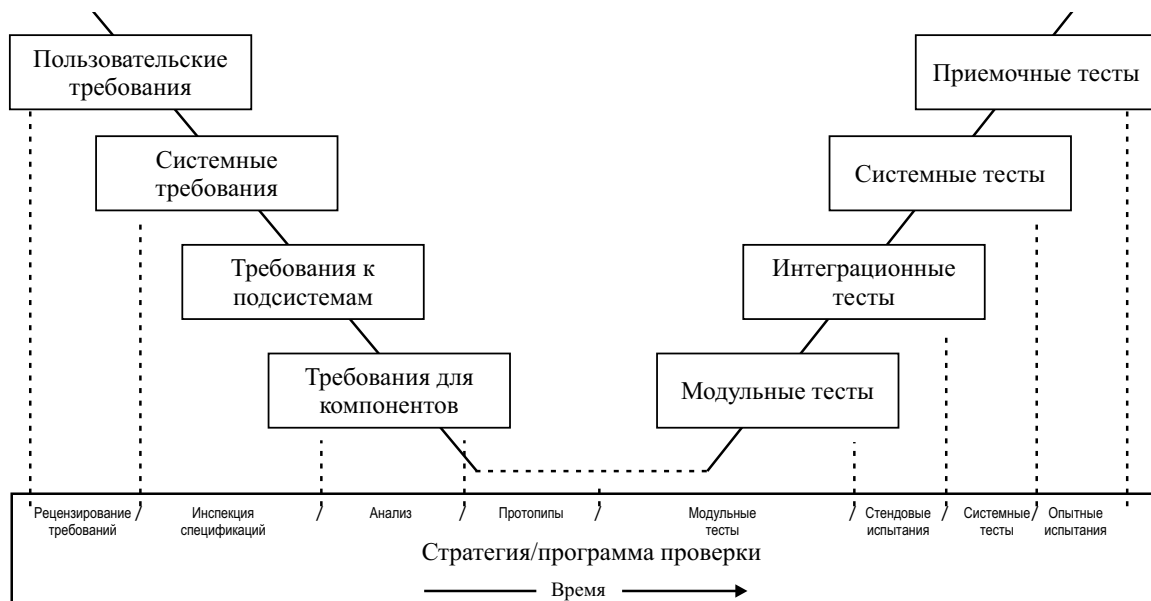


Рис. 2. V-модель цикла разработки и стратегия проверки системы

На рисунке 2 показана V-модель, дополненная стратегией проверки системы в процессе разработки. В левой стороне V-модели (горизонтальная часть рисунка) показаны методы проверки, применяемые на ранних этапах, в правой стороне – методы, применяемые на более поздних этапах. V-модель наглядно отображает необходимость проведения индивидуального тестирования каждого уровня требований. При проведении каждого этапа тестирования возникает потребность в создании тестов, в результате которых можно сделать заключение о выполнении предъявляемых требований.

Если применить данный подход к современным системам авионики, то основной проблемой при его реализации является то, что на этапе стендовых испытаний на данный момент практически все тесты разрабатываются вручную. Основными недостатками ручной разработки тестов являются:

- 1) высокая трудоемкость;
- 2) большое количество ошибок, вызванных человеческим фактором.

Для устранения этих недостатков необходимо автоматизировать процесс написания тестов, что позволит:

- 1) снизить трудоемкость процесса;
- 2) устранить ошибки, вызванные человеческим фактором;
- 3) уменьшить время, затрачиваемое на тестирование системы;
- 4) повысить качество тестирования.

Как было сказано выше, в подавляющем большинстве случаев в настоящий момент требования представляют собой обычный текст, описывающий программу функциони-

рования системы. Для автоматизации построения тестов необходимо автоматизировать обработку требований, для чего их нужно формализовать и представить в виде некоторой математической и/или графической модели.

ПРИМЕР ФОРМАЛИЗАЦИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ

Рассмотрим в качестве примера некоторую измерительную информационную систему, которая принимает, обрабатывает и отображает на своих индикаторах различную информацию. При отображении информация группируется в специальные кадры (или форматы). Так, например, для авиационной бортовой информационной системы основными форматами являются [5]: КПИ – отображение командно-пилотажной информации (рис. 3 а), КИНО – отображение навигационной информации (рис. 3 б), КИСС – отображение параметров и результатов диагностики бортового оборудования, а также текстов сигнальной информации (рис. 3 в). Учитывая полноту отображаемой информации, работу системы можно контролировать по тому, что представлено на соответствующих кадрах в разных режимах работы. Формализуя и математически описывая требования к информационным элементам кадра, можно построить тесты для всех этапов преобразования информации в системе – приема, обработки и представления.

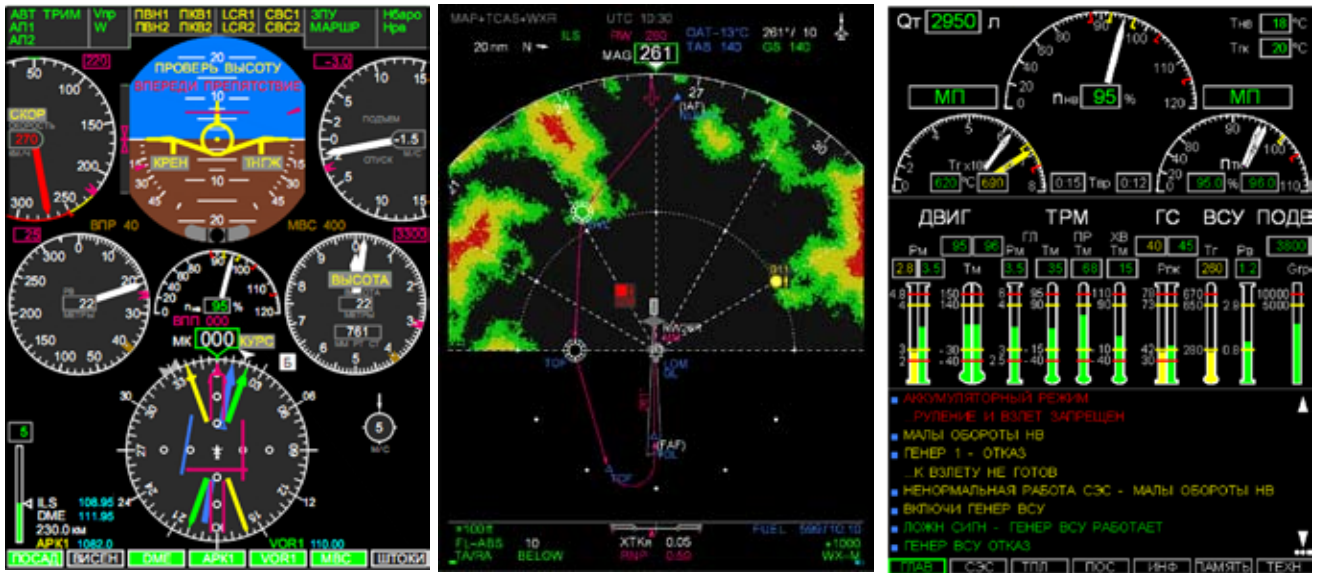
Рассмотрим формализацию требований на примере программы функционирования бортовой информационной системы при отображении кадра КПИ.

Основные элементы кадра КПИ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные элементы кадра КПИ

1	2	3	4	5	6
Обозначение	Указатель	Шкала	Индекс	Указатель	Признак



а) Формат отображения командно-пилотажной информации – КПИ;

б) Формат отображения навигационной информации, совмещенной с информацией о воздушной обстановке, – КИНО;

в) Формат отображения параметров и результатов диагностики бортового оборудования, а также текстов сигнальной информации – КИСС

Рис. 3. Основные форматы авиационной информационной системы

Рассмотрим требования для указателя. Данные требования могут иметь, например, следующий вид.

Указатель приборной скорости

Указатель приборной скорости должен отображаться в виде подвижной стрелки белого цвета, указывающей на шкале текущее значение приборной скорости.

Указатель должен отображаться в зависимости от параметра V_PR, где V_PR – приборная скорость.

Диапазон индикации должен быть от 30 до 310 км/ч.

Точность индикации должна быть 1 км/ч.

Указатель должен окрашиваться в красный цвет при V_PR ≥ 250 .

Указатель должен устанавливаться на значение 30 км/ч при V_PR ≤ 30 км/ч.

Указатель должен устанавливаться на значение 320 км/ч при V_PR ≥ 320 км/ч.

Согласно данным преобразованиям формализуем основные требования к указателю.

Введем обозначения:

- Что (Указатель и т. д.)
- Наименование
- Параметр
- Точность
- Основной цвет
- Основной диапазон
- Условие отображения
- Цвет перекраски
- Диапазон перекраски
- Дополнительные условия

- [A1];
- [A2];
- [Z];
- [Y];
- [B0];
- [X0];
- [C0];
- [Bn];
- [Xn];
- [Cn].

Для автоматизации составления теста данного формализованного описания недостаточно. Его необходимо дополнить логической моделью и математическим описанием требований. На основе преобразованного текста и формализованных требований составляется логическая графическая модель, представленная на рисунке 4.

Исходя из модели на рисунке 4 легко может быть выведено математическое выражение, описывающее логику теста:

$$X = Y \& ((V_PR < 30) \vee (V_PR > 30 \& V_PR < 250) \vee (V_PR > 250 \& V_PR < 320) \vee (V_PR > 320)),$$

где X – достоверное отображение параметра.

Процесс тестирования по сформированному логическому выражению удобно представить в виде сети Петри [6] (рис. 5).

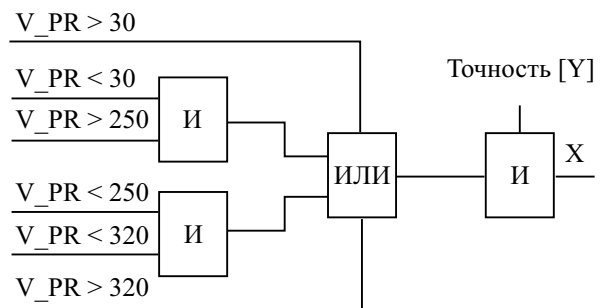


Рис. 4. Графическая логическая модель требований к указателю

На рисунке 5:
 $t1 - V_PR > 30$, $t2 - V_PR < 250$, $t3 - V_PR < 320$,
 $t4$ – точность;

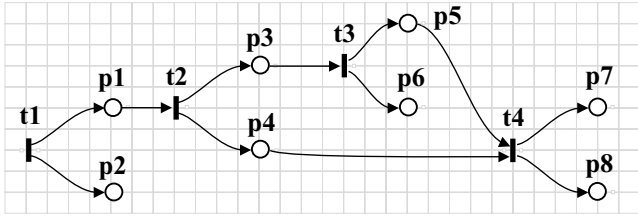


Рис. 5. Представление процесса тестирования требований к указателю в виде сети Петри

$P\{p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8\}$;
 $T\{t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7\}$;
 $I(t1)=p0$, где $p0$ – подача сигнала;
 $O(t1)=p1$; $O(t1)=p2$; $I(t2)=p1$; $O(t2)=p3$;
 $O(t2)=p4$; $I(t3)=p3$; $O(t3)=p5$; $O(t3)=p6$; $I(t4)=p5$;
 $O(t4)=p7$; $O(t4)=p8$.

Дополнительным преимуществом промежуточного представления тестов сложной системы в виде сетей Петри является то, что они могут быть перед реализацией проверены на наличие функциональных или логических ошибок в одном из пакетов моделирования, таких, как Renew, HPSim, VisualPetri или др. [7].

Рассмотренная графическая модель и математическое описание охватывают все требования, предъявляемые к отображению указателя. Исходя из модели и формализованных требований, структура конечного теста, представленная в виде программного кода, будет иметь следующий вид:

```

A1, A2
for i=MIN to MAX step Y
{
Z=i
for j=0 to j<2
{
C0=j
If i=X0 and C0=1
{
B0
for k=0 to k<2
{
Cn=j
if j=Xn=1
{
Bn
}
}
}
}
}
Cn
}
  
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения качества при реализации проектов сложных программно-аппаратных систем разработчикам в настоящее время недостаточно традиционных методов раздельного анализа алгоритмов, проверки программ и тестирования аппаратной составляющей – необходим комплексный подход, включающий различные методы моделирования, тестирования и верификации. Рассмотренный подход к построению тестов на основе формализации и моделирования требований позволяет обеспечить автоматическое создание тестов на различных этапах разработки сложной системы. Это позволяет сократить время на тестирование и отладку системы, повысить ее качество в смысле большего соответствия требованиям. Кроме того, данный подход позволяет перейти от выборочного тестирования, при котором анализируется лишь небольшое число специально выбранных режимов работы системы на отдельных этапах ее разработки, к верификации проекта, когда постоянно анализируется все множество возможных режимов функционирования. Так как результатом верификации является строгое формальное доказательство выполнения системой определенных к ней требований [8], то предложенный подход к построению тестов на основе формализации и моделирования требований может служить для нее основой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халл Э., Джексон К., Дик Д. Разработка и управление требованиями. Практическое руководство пользователя. – М. : Telelogic, 2005. – 229 с.
2. Карпов Ю.Г. Model checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. – БХВ – Петербург, 2010. – 560 с.
3. Шишкин В.В., Черкашин С.В. Автоматизация проектирования диагностического обеспечения и диагностирования авиационных бортовых информационных систем. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 174 с.
4. Clarus Concept of Operations. Publication No. FHWA-JPO-05-072, Federal Highway Administration (FHWA), 2005. – URL : <http://ntl.bts.gov/lib/jpodocs/reports/14158.html>.
5. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы: учеб. пособие / под ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. – 2-е изд. перераб. и доп. – Ульяновск : УлГТУ, 2004. – 504 с.
6. Diaz M. Petri Nets: Fundamental Models, Verification and Applications. Wiley, 2009. – 656 p.
7. Веревкин А.П., Кирюшин О.В. Теория систем: учеб. пособие. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2003. – 100 с.
8. Карпов Ю.Г. Новая жизнь верификации // Открытые системы. – №3. – 2012. – URL : <http://www.osp.ru/os/2012/03/13015160/>.

REFERENCES

1. Elizabeth Hull, Kenneth Jackson K., Jeremy Dick. *Razrabotka i upravleniye trebovaniyami. Prakticheskoye*

rukovodstvo polzovatelya [Requirements Engineering]. Moscow, Telelogic Publ., 2005. 229 p.

2. Karpov Yu.G. Model checking. *Verifikatsiya paralelnykh i raspredelennykh programmnykh sistem* [Verification of Parallel and Distributed Software Systems]. BHV-Peterburg Publ., 2010. 560 p.

3. Shishkin V.V., Cherkashin S.V. *Avtomatizatsiya proyektirovaniya diagnosticheskogo obespecheniya i diagnostirovaniya aviatsionnykh bortovykh informatsionnykh sistem* [Computer-Aided Design of Diagnostic Support and Airborne Information Systems Diagnostics]. Ulyanovsk, ULSTU Publ., 2010. 174 p.

4. Clarus Concept of Operations. Publication No. FHWA-JPO-05-072, Federal Highway Administration (FHWA), 2005. – URL : http://ntl.bts.gov/lib/jpodocs/repts_te/14158.html.

5. Kucheryavyy A.A. *Bortovyye informatsionnyye sistemy: ucheb. posobiye, pod red. V.A. Mishina i G.I. Klyuyeva, 2-e izd. pererab. i dop.* [Airborne Information Systems: Textbook. Under the editorship of V.A. Mishin and G.I. Klyuyev, 2nd edition revised]. Ulyanovsk, ULSTU Publ., 2004. 504 p.

6. Diaz M. *Petri Nets: Fundamental Models, Verification and Applications*. Wiley, 2009. 656 p.

7. Verevkin A.P., Kiryushin O.V. *Teoriya sistem: ucheb. Posobiye* [System Theory: Textbook]. Ufa, Izd-vo UGNTU Publ., 2003. 100 p.

8. Karpov Yu.G. *Novaya zhizn verifikatsii* [New Life of Verification]. *Otkrytyye sistemy* [Open systems], 2012, no. 3. URL : <http://www.osp.ru/os/2012/03/13015160/>.