

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ MODELING AND OPTIMIZATION

УДК 629.7.017.1

Т. М. Волосатова, канд. техн. наук, доц., tamaravol@gmail.com,  
П. А. Воронина, магистрант, voronina.p.a@yandex.ru, А. А. Козарь, магистрант, kozar.a.a.rk6@yandex.ru,  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

## Имитационное моделирование угроз информационной безопасности систем модульной авионики

*Изложены результаты исследований и анализа вычислительных средств в комплексах связи и навигации самолета, проведенных в целях построения формализованной модели угроз. На основе анализа обзоров доступной литературы показано, что проблема безопасности полетов нарастает. Анализ доступных источников показал, что в условиях повышения уровня автоматизации перспективных авиационных двигателей, бортового оборудования, систем и агрегатов летательных аппаратов, возрастания сложности бортовых информационных систем существенное значение приобретает проблема защиты автоматизированных систем авиационной техники от угроз информационной безопасности. Показана возможность имитационного моделирования атак на вышеуказанные системы с применением аппарата сетей Петри.*

**Ключевые слова:** авионика, автоматизированные системы, безопасность, вычислительные системы, информация, модуль, платформа, сеть Петри

### Введение

Работа посвящена результатам программной реализации имитационной модели угроз комплекса бортового оборудования (КБО) интегрированной модульной авионики (ИМА). Анализ обзоров, приведенных в доступной литературе, показывает, что проблема безопасности полетов нарастает [1–4]. По мнению специалистов, в условиях повышения уровня автоматизации перспективных авиационных двигателей, бортового оборудования, систем и агрегатов летательных аппаратов (ЛА), возрастания сложности бортовых информационных систем существенное значение приобретает проблема защиты автоматизированных систем авиационной техники от угроз информационной безопасности [5–8]. Источниками подобных угроз являются:

- беспроводные информационно-телекоммуникационные устройства пассажиров, находящиеся на борту летательного аппарата во время полета;
- информационные атаки внешних злоумышленников по беспроводным каналам передачи данных, обеспечивающим доступ к бортовой вычислительной сети;
- помехи, случайно либо умышленно поставленные с помощью средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Основные факторы, обуславливающие актуальность угроз информационной безопасности в отношении бортовых автоматизированных систем (БАС), следующие:

- увеличение функциональной нагрузки и возрастание сложности бортовой вычислительной сети, лежащей в основе всего КБО;
- резкое возрастание сложности (и, как следствие, числа несовершенств) контрольно-измерительной ("сенсорной") инфраструктуры перспективных двигательных установок и общесамолетных систем, включающей распределенные сети интеллектуальных датчиков и базирующейся, в том числе, на использовании беспроводных технологий;
- недекларированные возможности (НДВ) встроенного программного обеспечения (ПО) бортового радиоэлектронного оборудования.

Одним из путей повышения надежности ИМА является активное применение CALS-технологий, т.е. сопровождения объекта проектирования в период всего жизненного цикла. Это, в свою очередь, требует и сопровождения объекта на модели поведения.

Все перечисленное выше позволяет утверждать, что задача имитационного моделирования поведения ИМА в условиях эксплуатации является актуальной. Описываемая программная реализация является основой программного обеспечения автоматизированного рабочего места подсистемы САПР ИМА.

### 1. Цель исследований и решаемые задачи

В процессе исследований проведен аналитический обзор доступных источников [4–8], позволивший установить, что для разработки средств обес-

печения информационной безопасности (ИБ) ЛА необходима строгая и хорошо формализованная модель угроз. Известные подходы к ее построению основаны на вербальных оценках и обобщении мнений экспертов. При этом невозможно ограничить область адекватности теоретически возможными атаками, т. е. обеспечить необходимую полноту модели. Кроме того, такие модели не учитывают лавинообразно нарастающие сбои и отказы КБО [1] (эффект "домино"). Таким образом, целью настоящей публикации является описание разработанной программной реализации модели угроз ИБ КБО при лавинном нарастании атак. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ состава КБО ЛА с учетом перспектив его развития;
- анализ атак на ИБ КБО, возможность которых ограничена физической реализуемостью;
- выявление условий возникновения спровоцированных лавинных сбоев и отказов.

## 2. Анализ комплекса систем управления ЛА

Результат обзора доступных источников [4–8, 11] показывает, что проектирование БАС ЛА, отдельных приборов, устройств и подсистем направлено на создание единого (интегрированного) комплекса (ИБАС). Бортовые комплексы автоматических систем представляют собой системы, функционирующие в различных условиях и ситуациях, определяемых состоянием внешней среды, внутренним состоянием систем и аппарата в целом. Представим состав БАС с точки зрения информационных систем. В состав бортовых автоматических комплексов с информационной точки зрения входят объекты управления и управляющие системы. Объектами управления являются рулевые органы, двигатели, средства разгона и торможения, различные исполнительные органы и т.д.

Элементами управляющих систем являются датчики информации о внешней среде, о состоянии бортовых систем и положении аппарата в простран-



Рис. 1. Общий состав бортовых автоматических систем ЛА

стве, преобразователи информации, каналы связи и бортовые цифровые вычислительные машины (БЦВМ). Отметим, что их чаще всего несколько — одна центральная и несколько периферийных [11–16]. Вместе они образуют бортовые цифровые вычислительные системы (БЦВС). БЦВС являются ядром БАС, выполняя основные вычислительные задачи комплекса. Структура и состав БАС приведены на рис. 1.

## 3. Модель системы контроля бортовых вычислительных средств ЛА

### 3.1. Выбор объекта моделирования

Модель предназначена для сопровождения БЦВС 5-го поколения. Анализ публикаций [10–15] показал возможность и необходимость использовать в качестве прототипа бортовую цифровую вычислительную платформу "Крейт-6U", разработанную в ФГУП "СПб ОКБ "Электроавтоматика" им. П. А. Ефимова" [16]. БЦВС построена на основе унифицированных функциональных модулей (ФМ).

### 3.2. Выбор средств моделирования

Анализ [17–19] показал, что, несмотря на огромное разнообразие различных инструментов для проведения имитационного моделирования (например, типичная среда AnyLogic), получили преимущественное распространение имитационные модели на основе сетей Петри и их расширений. Сети Петри иерархичны, имеют статическую структуру, позволяют описывать и отображать как текущее состояние, так и процессы функционирования моделируемых систем. Аппарат сетей Петри содержит большие потенциальные возможности для формализованного описания и имитационного моделирования БВС.

В качестве исходного формализма для разработки модели были выбраны И-сети (имитационные сети), ориентированные на решение задачи анализа и оценивания систем на стадиях их проектирования и сопровождения. И-сети содержат все расширения последовательности модифицированных сетей Петри, направленных на моделирование вычислительных систем:

сети Петри → временные сети Петри →  
→ E-сети → M-сети → И-сети [5].

Кроме того, введены следующие модификации.

1. Вместо набора базовых типов переходов введен универсальный переход, условия реализации которого и правила приема меток из входных позиций могут быть любыми функциями статусов входных и выходных позиций перехода, а правила выдачи меток в выходные позиции перехода — функциями статусов входных и выходных позиций и атрибутов принятых меток.

2. Переход может содержать процедурную часть — вычислительный алгоритм, выполняемый при срабатывании перехода. Введение в переход вычисли-

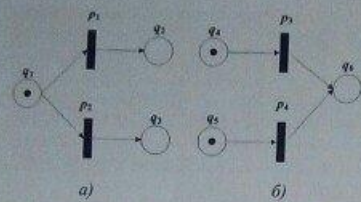


Рис. 2. Конфликтные ситуации

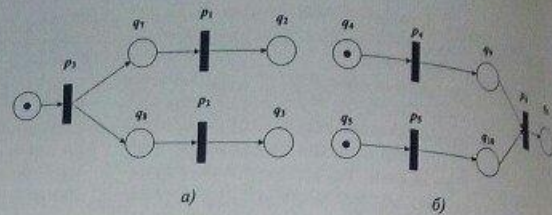


Рис. 3. Разрешение конфликтных ситуаций

тельной части вызвано необходимостью выполнения алгоритмов рабочих программ в процессе имитации функционирования объекта моделирования.

3. Метка в качестве своего атрибута может содержать не только переменные, но и алгоритмы, выполнением которых управляют переходы, принявшие метку, что позволяет моделировать выполнение алгоритмов рабочих программ БЦВМ.

4. Временной параметр перехода может быть принадлежностью данного перехода, атрибутом принятой метки, а также функцией атрибутов принятых меток и модельного времени. Во втором случае переход моделирует активность, длительность которой определяется свойствами данных, над которыми она действует.

5. Практика сетевого моделирования показала, что в сетевой модели можно выделить позиции, в которых постоянно находятся метки (например, списки временных заданий, значения некоторых регистров и т.д.). Для их моделирования введены информационные позиции (графически изображаются наполовину заштрихованными кружками). При приеме метки из такой позиции ее статус не обнуляется, метка сохраняется. Статус информационной позиции обнуляется только при записи в нее нулевой информации.

6. В И-сетях из каждой позиции выходит и в каждую позицию входит не более одной дуги. Наличие у позиции нескольких входных или выходных дуг может приводить к конфликтным ситуациям (рис. 2).

В сети, изображенной на рис. 2, а, конфликт возникает, когда в позицию  $q_1$  поступает метка. Неясно, какой из переходов  $p_1, p_2$  должен реализоваться и принять метку. В сети, изображенной на рис. 2, б, конфликт может возникнуть при одновременном завершении переходов  $p_3$  и  $p_4$ . Неясно, какая из меток —  $m(q_4)$  или  $m(q_5)$  — перейдет в позицию  $q_6$ . Если не введено ограничение на количество инцидентных позиций дуг, в определении сети должно быть предусмотрено разрешение конфликта (например, переходам могут быть присвоены приоритеты). В рамках введенного ограничения, конфликтные ситуации, отображенные на рис. 2, а и рис. 2, б могут быть описаны сетями, где вве-

дены дополнительные позиции (рис. 3, а и рис. 3, б соответственно).

Представленная далее модель строится на основе сети Петри [17–19]. В качестве среды создания модели был использован программный модуль PIPEv 4.3 [19]. Структурная схема моделируемой БЦВС представлена на рис. 4. В качестве ФМ выступают:

- модули вычислительные (МВ), выполняющие расчеты сигналов управления полетом ЛА;
- модули ввода-вывода (МВВ), обеспечивающие функции обмена информацией по последовательным каналам (ПК), мультиплексным каналам обмена, разовым командам (РК);
- графические модули, обрабатывающие изображение для его вывода на средства бортовой индикации;
- модули постоянной памяти, предназначенные для хранения программного обеспечения;
- модули электропитания (МН), обеспечивающие преобразование напряжения бортовой резервированной сети во вторичные напряжения, необходимые для электропитания модулей.

В структурной схеме БЦВС: МКИО — мультиплексный канал информационного обмена; МН — модуль электропитания, преобразующий  $U_{б.с}$  — напряжение бортовой сети во  $U_{втор}$  — вторичные напряжения; ПК — последовательный канал; РК — разовые команды; ФМ — функциональный модуль; МГ — графический модуль. Имитационная модель системы контроля БЦВС на основе сети Петри представлена на рис. 5 (см. третью сторону обложки).

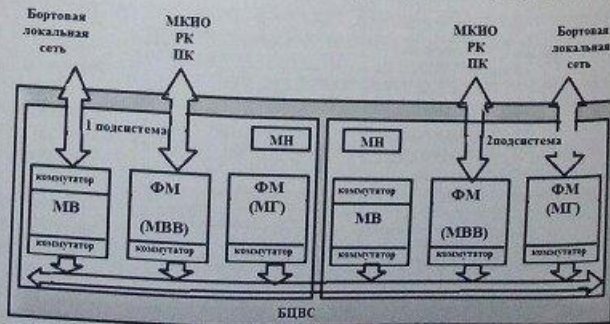


Рис. 4. Структурная схема БЦВС

В мод  
заграт  
тестир  
возмо  
зульта  
иерар  
ются  
Опис  
подтвер  
годки,  
навлива  
задачам.

При  
ют сигн  
ная инф  
Соглас  
ностям  
В кажд  
одной  
метки  
в этом  
позици  
тельно  
или ра  
модуля  
наличие  
параме  
тике ре  
лей (та  
полож  
памяти  
многос  
Иници  
подач  
тивит  
тельно  
узел п  
модуль  
зонин  
ды ка  
как д  
Вмест  
мер б  
ответ  
чае у  
ФМ  
прой  
може  
метки  
но пр  
Од  
тест  
же пе  
ка си  
заци  
ния д  
хиче

### 3.3. Описание модели

В модели учтено следующее:

- затраты по времени на направление запроса, тестирования и ожидания ответа от БЦВС;
- возможность распознавания отрицательных результатов тестирования;
- иерархия, так как некоторые переходы не являются мгновенными и имеют вложенные цепи.

Описываемая модель (рис. 5) является примером, подтверждающим работоспособность выбранной методики, поэтому время прохождения переходов устанавливается условно, сообразно соответствующим им задачам, а не снимается с реальной БЦВС.

### 3.4. Выполнение моделирования

При подаче начальных напряжений отсутствуют сигнал исправности и неисправности, контентная информация подготовлена для загрузки в ПЗУ. Согласно рис. 5 позиции, определенные особенностями БЦВС, заполняются метками до старта. В каждой паре характеризуемых позиций метка в одной из них исключает возможность занесения метки в другую по умолчанию, ингибиторная связь в этом случае не требуется. Для заполнения позиций требуется информация о типе предопределенного автоматического контроля (стандартный или расширенный); о числе задач, выполняемых модулями в данный момент (данные позиции динамически изменяемы в соответствии с текущими параметрами системы); о оценочной характеристике ресурсов работающих функциональных модулей (также динамически изменяемы). В начальном положении таймеры обнуляются, модули массовой памяти (ММП) пусты, функциональное программное обеспечение (ФПО) не проинициализировано. Инициатором начала движения меток служит факт подачи начального напряжения БЦВС. Блоки тестирования функциональных модулей последовательно проверяют узел функций модуля (УФМ), узел поддержки модуля (УПМ), узел связи по межимодульному интерфейсу (УМИ), узел связи с мезонирами (УСМ), которым соответствуют переходы каждого слоя блоков. Тестирование проходит как для рабочих, так и для резервных модулей. Вместе со стартом тестирования запускается и таймер блоков тестирования, останавливается он, соответственно, при окончании тестирования рабочих ФМ метка, прошедшая сквозь тест, не позволяет пройти метке, задержанной перед таймером с помощью ингибиторной связи. В случае отсутствия метки от тестов метка от таймера беспрепятственно проходит к своей ветви развития событий.

Обработка варианта успешного прохождения теста происходит следующим образом: при первом же переходе по этой ветви осуществляется установка сигнала исправности. Затем следует инициализация функционального программного обеспечения для каждого из ФМ. Далее выполняется иерархически вложенная сеть, моделирующая запуск

циклов ФПО. На каждой итерации проводятся тесты ФМ на работоспособность в режиме, заданном входными данными. При успешном прохождении теста метка переходит к следующему циклу ФПО.

Для обработки неудачного исхода тестирования на итерациях применяется обнуляемый таймер, из которого задерживаемая метка приходит к переходу с ингибиторной связью после получения результатов теста в заданном режиме.

В случае сбоев и отказов на итерациях выполнения циклов ФПО, а также если работающие ФМ не прошли тестирование, метка переходит к блоку оценки резервных ФМ. Проверка резервных модулей, осуществленная при начальном тестировании, передает (в случае успеха) метку в блок оценки резервных модулей. Если в упомянутый блок пришли обе метки, то осуществляется загрузка ФПО с учетом реконфигурации (используются резервные ФМ). Если же пришла лишь метка от неудачных тестирований, то проводится оценка ресурсов работающих модулей.

Если каждый модуль выполнял не одну задачу и у работающих ФМ есть дополнительные ресурсы, проводится реконфигурация. Реконфигурация при назначении каждой задачи на индивидуальное функциональное устройство возможна только при наличии исправных модулей в резерве. Если модуль в резерве доступен, в его ячейки памяти ОЗУ модулей ММП заносится ФПО, ранее исполнявшееся отказавшим модулем.

Реконфигурация при назначении нескольких задач на один функциональный модуль возможна не только при наличии резервного исправного модуля, но и в случае, если у исправных модулей имеются дополнительные (незадействованные) ресурсы для решения задач авионики, которые выполнял отказавший модуль.

Способность БЦВС к реконфигурации при назначении задач, когда один модуль выполняет одну задачу, а три других модуля одной подсистемы выполняют по несколько задач каждый, зависит от того, какой из КФМ отказал. Если зафиксирован отказ модуля, который выполнял одну задачу, то реконфигурация возможна и при наличии резервного модуля, и при наличии свободных вычислительных ресурсов исправных модулей. После проведения процедуры реконфигурации алгоритм работы БЦВС будет следующий: при положительном результате реконфигурирования формируется сигнал исправности, обновляется ФПО в ячейках памяти КФМ и БЦВС приступает к выполнению ФПО. При неудачном результате реконфигурирования "снимается" сигнал исправности БЦВС, и вычислительная система считается неисправной. В качестве выходного параметра выступает сигнал, характеризующий состояние БЦВС. Сигнал исправности приводит к итерационному выполнению циклов ФПО. Сигнал неисправности обрывает работу и инициирует выполнение аварийных инструкций.

Далее рассмотрим использование И-сетей Петри для формализованного описания процесса функцио-



и рис. 3, б

я на осно  
создания  
и модуль  
дируемой  
ФМ вы  
А;  
инвающие  
дователь-  
алам об-  
щие изо-  
овой ин-  
аченные  
ечиваю-  
й резер-  
я, необ-  
мульти-  
; МН —  
с — на-  
ные на-  
; РК —  
модуль;  
модель  
(Петри  
иетки).



нирования БЦВС на примере моделирования дискретного контура управления ориентацией пилотируемого ЛА. В данном примере рассматривается режим выполнения ориентации ЛА в системе координат, фиксируемой на момент начала режима. На рис. 6 приведена структурная схема контура управления.

В структурной схеме контура управления ориентацией сам контур управления включает систему исполнительных органов (СИО), объект управления — летательный аппарат в угловом движении и кинематические соотношения углового движения (КИП), блок датчиков угловых скоростей (БДУС), блок формирования результирующего закона управления (БФРЗУ). Управляющие воздействия передаются в выходной регистр БЦВС, с которого через устройство согласования поступают на систему исполнительных органов. Сетевая модель описанного контура управления представлена на рис. 7. БЦВС моделируется в той части, которая обеспечивает выполнение данного режима. В рассматриваемом примере учтены два источника прерывания: от таймера и от пульта оператора, с которого задается режим управления и установочные данные. Не учитывается механизм формирования очереди фоновых, не связанных с задачей управления программ. Выполнение программы, реализующей алгоритм управления, и фоновой программы представляется метками, движущимися по сети, со следующими атрибутами:  $T$  — время выполнения программы;  $PROC$  — имя программы;  $PP$  — признак разрешения прерывания программы во время выполнения (атрибут  $PP = \text{"да"}$  для фоновых программ и атрибут  $PP = \text{"нет"}$  для программы режима управления).

В И-сетевой модели контура управления ориентацией обозначены:  $p_1$  — таймер;  $p_2$  — обработка прерываний;  $q_7$  — список циклически выполняемых программ;  $q_9, q_{10}, q_{11}$  — очередь программ на выполнение;  $p_3$  — запись программ в очередь на

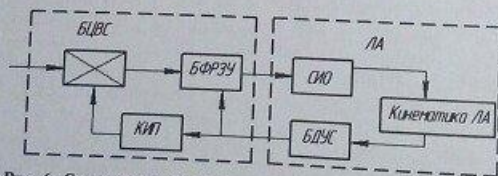


Рис. 6. Структурная схема контура управления ориентацией



Рис. 7. И-сетевая модель контура управления ориентацией

выполнение;  $p_4$  — выполнение программ. Переход  $p_5$  моделирует систему исполнительных органов углового движения ПКА и датчики БДУС. Переход  $p_1$  моделирует работу таймера. Он выполняется, если в позиции  $q_1$  есть метка, принимает метку из  $q_1$  и через время цикла работы БЦВС ( $\tau_{p1}$ ) выдает метку на выходные позиции перехода —  $q_1$  и  $q_2$ . Для того чтобы запустить таймер, достаточно поместить метку в позицию  $q_1$ .

Переход  $q_2$  моделирует обработку прерываний. Он наступает, если хотя бы в одной из позиций  $q_2$  или  $q_4$  есть метка. Если метка в  $q_4$ , то переход принимает метки  $m_{p3}, m_{p4}$ . Если метка  $m_{p4}$  содержится в позиции на разворот, то установки передаются в глобальную область памяти, а метка, содержащая программу режима, из позиции  $q_3$  передается в позицию  $q_7$ , моделирующую список циклически выполняемых программ. Если же метка есть в  $q_2$ , но ее нет в  $q_4$ , то принимаются метки  $m_{q2}, m_{q5}$ . Метка из позиции  $q_2$  передается в позицию  $q_6$ , атрибуты метки  $m_{q5}$ , моделирующие показания датчиков БДУС, передаются в глобальную область памяти.

Переход  $p_3$  наступает, если в позиции  $q_6$  есть метка, принимает метки из позиции  $q_6, q_7$ , метку  $m_{q7}$  передает в позицию  $q_9$  — очередь программ на выполнение к процессору.

Переход  $p_4$  моделирует выполнение рабочих программ. Переход наступает, если хотя бы в одной из входных позиций есть метка, принимает одну из меток по приоритету:  $m_{q9}, m_{q10}, m_{q8}$  (фоновые программы). При этом, если атрибут принятой метки  $PP = \text{"да"}$ , т. е. принятая программа допускает прерывание, временному параметру перехода присваивается единичное значение, значение атрибута  $T$  принятой метки уменьшается на единицу и принятая метка с измененным значением атрибута  $T$  пересылается в позицию  $q_{10}$ . Так продолжается до тех пор, пока значение атрибута  $T$  не станет равным единице. Как только это произойдет, выполняется программа, указанная в атрибуте  $PRG$  принятой метки. Если же значение атрибута метки  $PP = \text{"нет"}$ , т. е. программа не допускает прерываний при выполнении, временному параметру перехода присваивается значение атрибута  $T$  принятой метки, выполняется указанная программа, а рассчитанные в программе управляющие воздействия передаются в выходную позицию  $q_{11}$  в качестве атрибутов метки  $m_{q11}$ .

Переход  $p_5$  представляет собой модель углового движения ЛА в виде системы дифференциальных уравнений. Действие перехода заключается в одном шаге интегрирования системы дифференциальных уравнений. Чтобы инициализировать переход, достаточно поместить в позицию  $q_{12}$  метку, содержащую в качестве атрибутов начальные условия интегрирования. Далее переход выполняется циклически с шагом, равным шагу интегрирования. Переход  $p_5$  принимает метки из  $q_{12}$  и  $q_{11}$ , выполняет один шаг интегрирования системы дифференциальных уравнений, результат интегрирования — угловые скорости ЛА — передает в позиции  $q_{12}, q_8$ .

Как видно, данная сетевая модель близка к реальной системе, так как отражает и структуру, и функциональные связи моделируемой системы, топологию и динамику сети — перемещение меток по сети и изменение их атрибутов в процессе движения. Работа БЦВС и движение ЛА происходят параллельно во времени, что также отражено в И-сетевой модели: переходы  $p_1$  и  $p_5$  (модели таймера БЦВС и модели СИО, БДУС и углового движения ЛА) инициируются независимо друг от друга метками в позициях  $q_1$  и  $q_{12}$  соответственно и протекают параллельно в течение модельного времени.

Модели ЛА и БЦВС связаны следующим образом: в модель БЦВС поступают показания с датчиков БДУС, а из модели БЦВС в систему исполнительных органов выдаются управляющие воздействия. Эту связь отображают позиции  $q_5$  и  $q_{11}$ . Позиция  $q_5$  моделирует регистр, на который поступают показания с датчиков, а метка в позиции  $q_5$  моделирует его содержимое. Позиция  $q_{11}$  и метка в позиции моделируют регистр, с которого в СИО поступает управляющее воздействие.

Состояние модели в любой момент времени может быть определено разметкой сети. Таким образом, имеется возможность контролировать процесс функционирования модели и управления процессом.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено:

- возможно сопровождение бортовых ВС ЛА на всем жизненном цикле ИМА, как в процессе функционирования, так и при доработках;
- применение аппарата моделирования на основе сетей Петри предпочтительно при построении имитационных моделей угроз ИБ ИМА.

### Список литературы

1. Глишская Е. В., Чичварин Н. В. Моделирование угроз информационной безопасности бортовых вычислительных средств самолета // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". 2016. — № 6. С. 85–97.
2. URL: [www.aviasafety.ru/crash-stat](http://www.aviasafety.ru/crash-stat) (дата обращения 25.12.2016).

3. Информационная безопасность. Android. Блог компании "App4All". URL: <http://app4all.ru/?type=7> (дата обращения 25.12.2016).
4. Документы ИКАО — Библиотека — Авиационный портал Airpot. URL: [airpot.ru/library/dokumenty-ikao](http://airpot.ru/library/dokumenty-ikao) (дата обращения 20.12.2016).
5. Богданов А. В. и др. Платформа интегрированной модульной авионики. Патент на полезную модель № 108868 О1 RU, МПК G06F 9/00, № 2011121962/08. Заявл. 01.06.2011. Опубл. 27.09.2011.
6. Герлих Х. Модульная система авионики самолета. Патент № 2413655 С2 RU, МПК B64C 19/00, № 2008123940/11. Заявл. 16.11.2006. Опубл. 10.03.2011. Бюл. № 7.
7. Джанджгава Г. И. Авионика пятого поколения: новые задачи — новая структура // Вестник авиации и космонавтики. 2001. № 5. С. 8–10.
8. Евгений А. В. Направления развития интегрированных комплексов бортового оборудования самолета гражданской авиации / Авиакосмическое приборостроение. 2003. № 3. С. 48–53.
9. Писаренкова Н. С., Гарбуз Г. Г. Некоторые вопросы моделирования АСУ ПВО с применением аппарата сетей Петри / Научные труды академии. Вып. 2. Смоленск: ВА ПВО СВ РФ, 1995.
10. Волосатова Т. М., Чичварин Н. Н. Структурное моделирование угроз информационной безопасности систем автоматизированного проектирования // Вестник МГТУ. Серия Приборостроение. 2013. № 3. С. 58–76.
11. Книга Е. В. Принципы организации архитектуры перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. С. 163–165.
12. Коблякова Л. В. Механизм единого времени в бортовых системах SpaceWire // Технические науки. Информатика, вычислительная техника. 2010. № 4. С. 63–71.
13. Антипов В. М. Создание БЦВС. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. 70 с.
14. НИИ "Аргон". Официальный сайт. Технология построения открытых, модульных вычислительных средств. URL: [www.argon.ru](http://www.argon.ru) (дата обращения: 30.10.2016).
15. Захарова О. Л., Кирсанова Ю. А., Книга Е. В., Жаринов И. О. Алгоритмы и программные средства тестирования бортовых цифровых вычислительных систем интегрированной модульной авионики // Информационно-управляющие системы. 2014. № 3. С. 19–29.
16. Жаринов И. О., Видин Б. В., Шек-Иовсепянц Р. А. Принципы построения крейта бортовой многопроцессорной вычислительной системы для авионики пятого поколения // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 4 (68). С. 21–27.
17. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
18. Маруховский В. Б., Розенблюм Л. Я., Яковлев А. В. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Санкт-Петербург: Профессиональная литература. АИТи-Подготовка, 2014. 400 с.
19. Platform Independent Petri net Editor 2: <http://pipe2.sourceforge.net/>: About PIPE2 (дата обращения: 15.12.2016).

T. M. Volosatova, Supervisor, Ph. D., Ass. Prof.,

P. A. Voronina, Master Student, A. A. Kozar, Master Student, BMSTU, Moscow, 105005, Russia

## Simulation Modeling of Information Security Threats Systems Modular Avionics

*Presented the results of research and analysis computing means in the complexes of communication and navigation of the aircraft, conducted with the aim of building a formal threat model. On the base of the analysis of available literature is shown that the problem of safety increases. Analysis of available sources showed that the increasing level of automation of advanced aircraft engines, avionics, systems and components aircrafts, the increasing complexity of onboard information systems, the problem of protection of automated systems aviation technology from information security threats takes the significant importance. The possibility of simulation of attacks on the above-mentioned systems using the apparatus of Petri nets is shown.*

**Keywords:** Avionics, automated systems, security, computer systems, information, module, platform, Petri nets