

ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС — научно-техническому прогрессу России



- МАШИНОСТРОЕНИЕ
- ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКА
- ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКОЕ
ПРОИЗВОДСТВО
- СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ
И ИЗМЕРЕНИЯ



1 '2021



Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России
(4 выпуска)
Подписной индекс **79379**
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал
Конструкции из композиционных материалов
(4 выпуска)
Подписной индекс **80089**
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал
Информационные технологии в проектировании и производстве
(4 выпуска)
Подписной индекс **79378**
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал
Экология промышленного производства
(4 выпуска)
Подписной индекс **80090**
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал
Вопросы защиты информации
(4 выпуска)
Подписной индекс **79187**
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);
факс: 8 (495) 491-44-80.
E-mail: izdanie@ntckompas.ru

1 (149) ОБОРОННЫЙ КОМПЛЕКС - научно-техническому прогрессу России

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1984 г.

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Тараскин М. М., Хуснулин Р. Г. Алгоритм поиска масштабируемых объектов в подсистеме обработки графической информации в геоинформационной системе "ГеоГлобус" (статистический подход) 3

Заяц Ю. А., Шабанов А. В. Концептуальная информационная модель системы управления технической готовностью военной автомобильной техники воинской части 13

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дьячков М. Е., Кобелев П. А., Шевченко Р. В. Построение архитектурной модели методики оперативно-производственного планирования производственного процесса сервисного обслуживания вооружения и военной техники ПВО с использованием методологии MBSE 18

Коган Ю. Г., Пителинский К. В., Щербина А. А. Модифицированная раскрашенная сеть Петри: метод и средство имитационного моделирования 26

Кабаков В. В. Имитационное моделирование диагностических параметров в Simulink 33

ИЗМЕРЕНИЯ. ИСПЫТАНИЯ. КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Разживалов П. Н., Кудряшов Д. Д., Шаталова С. А. Комбинированное моделирование теплового расчета звездного датчика 38

Дубинин Д. П. Алгоритм планирования движения мобильного робота 46

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОБОРУДОВАНИЕ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. РАДИОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРОНИКА

Ивановский Н. В., Величко Н. И., Соболев А. С., Дегтярев А. В. Разработка лабораторной установки для исследования принципа работы навигационного эхолота JMC-F1000 50

Шовкалюк А. П. Оптимизация радиаторов для радиоэлектронной аппаратуры 53

Главный редактор

И. А. Шеремет, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., заместитель директора Российского фонда фундаментальных исследований по научной работе

Заместители главного редактора

Ю. А. Чаплыгин, академик РАН, д-р техн. наук, проф., президент, заведующий кафедрой «Интегральная электроника и микросистемы», МИЭТ

С. А. Матвеев, канд. техн. наук, начальник Центра автоматических космических систем и комплексов ФГУП "ЦНИИмаш"

Ответственный секретарь — К. В. Трыкина,

начальник отдела научных и информационных изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

Редакционная коллегия:

В. И. Борисов, академик РАН, д-р техн. наук, проф., научный руководитель — зам. генерального директора по научной работе ОАО «Концерн «Созвездие»; **Б. А. Григорьев**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН, научный руководитель Центра исследований пластовых систем и технологического моделирования ООО «Газпром ВНИИГАЗ», зав. кафедрой «Исследование нефтегазовых пластовых систем» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; **С. Ю. Желтов**, академик РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ФГУП «ГосНИИАС»; **И. А. Каляев**, академик РАН, д-р техн. наук, проф., директор НИИ многопроцессорных вычислительных систем ЮФУ (НИИ МВС ЮФУ); **В. М. Кашин**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., генеральный директор — генеральный конструктор ФГУП «Конструкторское бюро машиностроения»; **Ю. Н. Коптев**, д-р техн. наук, проф., председатель научно-технического совета Госкорпорации «Ростехнологии»; **Ю. И. Маевский**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор систем и средств РЭБ — зам. генерального директора по инновациям и научной работе ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии»; **Б. В. Обносков**, д-р техн. наук, проф., действительный член РАН, генеральный директор — генеральный конструктор ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»; **В. В. Рыжиков**, д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, проф., профессор кафедры «Техническое управление качеством» Пензенского государственного технологического университета (Пенз. ГТУ); **Л. Г. Сидоренко**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАН, генеральный конструктор по специальной тематике ОАО «ЦКБ МТ «Рубин»; **П. А. Созинов**, д-р техн. наук, проф., генеральный конструктор ОАО «Концерн ПВО «Алмаз-Антей»; **Н. И. Турко**, д-р воен. наук, канд. техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, проф., первый вице-президент Академии военных наук

Учредитель *Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»*

Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе электронной, без предварительного письменного разрешения редакции не допускаются.

УДК 91(075.8)

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_3

АЛГОРИТМ ПОИСКА МАСШТАБИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ В ПОДСИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ "ГЕОГЛОБУС" (СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД)

М. М. Тараскин, д-р техн. наук; *Р. Г. Хуснулин*
Войсковая часть № 11928, Москва, Россия

Рассмотрено использование последовательного анализа А. Вальда в виде алгоритма кумулятивных сумм в качестве подхода к анализу и оценке статистических признаков масштабируемых объектов. Проведен анализ выбора математического аппарата для исследования статистических свойств алгоритма поиска масштабируемых объектов по статистическим признакам. Рассмотрено обоснование выбора значений ошибок первого и второго рода при обнаружении изменений интенсивности входного потока пакетов.

Ключевые слова: геоинформационная система, графическая информация, алгоритм, масштабируемый объект.

Существует ряд масштабируемых признаков, основанных на использовании большого числа пакетов (зачастую легальных), приводящих к ухудшению, а впоследствии и к прекращению функционирования системы обработки графической информации, в том числе в ГИС "ГеоГлобус". Обнаружение подобного рода свойств возможно при использовании статистических подходов выявления их признаков.

Анализ [1—3] позволяет утверждать, что обработка статистических данных в целях поиска масштабируемых объектов осуществляется на основе статистических порогов. Данный факт, как указывалось ранее, не позволяет системам обработки графической информации достоверно оценивать интенсивность поступления пакетов.

С позиции поиска масштабируемых признаков изменение интенсивности поступления пакетов фиксируется по заранее определенному критерию или его количественному эквиваленту — порогу. Принятие решения в любой момент времени о любом изменении носит скачкообразный характер.

Исходя из определения исследуемого процесса, а также требований, предъявляемых к моделям, его описывающим, необходимо обосновать выбор математического аппарата исследова-

ний, позволяющего с максимальным быстродействием при заданной достоверности обнаруживать в нем скачкообразные изменения ("разладку").

Обоснование выбора математического аппарата для исследования статистических свойств входного потока пакетов

Сравнительные исследования математических методов решения задач распознавания образа (или, в частном случае, обнаружения изменения образа), приведенные в ряде источников, например в [4, 5—7], позволяют сделать вывод о том, что наиболее эффективными (по быстродействию при заданной достоверности) являются процедуры последовательных решений. Их суть состоит в следующем.

Принадлежность распознаваемого объекта (ситуации) w соответствующему классу Ω , $i = 1, \dots, m$, принимается после измерения всей совокупности признаков этой ситуации x_1, \dots, x_n . Возможен и другой подход к решению этой задачи: после измерения каждого очередного признака x_1, x_2, x_3 и т. д. включается алгоритм распознавания и решается задача распознавания на основе данных об измеренных к текущему моменту времени признаках неизвестной ситуации. При этом в зависимости от результатов сравнения полученного решения с некоторыми установленными заранее границами либо измеряется очередной признак ситуации w , либо прекращается дальнейшее накопление информации об этой ситуации. Такая процедура решения задачи распознавания, называемая последовательной, обязана своим

Тараскин Михаил Михайлович, профессор.

E-mail: professor.59@mail.ru

Хуснулин Рустам Гемерович, старший офицер.

E-mail: husnulin_rustam@list.ru

Статья поступила в редакцию 25 октября 2020 г.

© Тараскин М. М., Хуснулин Р. Г., 2021

возникновением одному из разделов статистики — последовательному анализу [8, 9].

Последовательное и, значит, многократное решение задачи распознавания с использованием на каждом шаге все возрастающего числа измеренных признаков особенно целесообразно в случаях, когда определение признаков сопряжено с затратами на проведение анализа. Процесс их накопления недопустим из-за ограниченного количества времени, обусловленного особенностями предметной области. Ситуации ряда классов из их общей совокупности надежно распознают по ограниченному количеству признаков и т. п.

Наиболее удобной формой представления значений выделенных признаков (данных) в динамических системах, к которым, в частности, относятся и системы обработки графической информации, являются временные ряды. Укажем, что под динамическими системами будем понимать такие системы, в которых в реальном масштабе времени (или с темпом поступления информации на их вход) происходят изменения хранящихся в них данных.

Традиционным при анализе временных рядов является предположение о том, что статистические свойства наблюдаемого ряда или свойства порождающего его механизма сохраняют определенное постоянство во времени или медленно изменяются. Вместе с тем многие практические задачи, например текущего контроля производства, технической диагностики, геофизики и т. п., сводятся к последовательному (т. е. в темпе с поступлением очередного наблюдения) обнаружению скачкообразного изменения ("разладки") свойств наблюдаемого временного ряда, происходящего в неизвестный момент времени [5, 6, 8].

Задача обнаружения "разладки" может решаться, например, с помощью методов, основанных на байесовском подходе. Его основными недостатками являются сложность получающихся алгоритмов (в частности, эти алгоритмы являются многоканальными) и не всегда обоснованное на практике требование задания априорных распределений [6, 7].

Метод отношения правдоподобия менее сложен, чем байесовский (в частности, он является одноканальным), и обладает рядом свойств оптимальности и асимптотической оптимальности [5, 6], но расчет его вероятностей ошибок представляет значительные сложности. Известные в литературе приближенные формулы [6] в ряде случаев дают существенные погрешности.

Сравнительный анализ непоследовательных методов обнаружения "разладки" и последова-

тельных, представленный в [7], по параметру времени обнаружения при одинаковых вероятностях ошибок позволяет сделать вывод о том, что выигрыш последних во времени (или числу шагов, которое в них требуется для обеспечения вероятностей ошибок, таких же, как и в непоследовательном обнаружителе) наблюдения весьма значителен (в 1,2—1,4 раза).

Анализ статистических методов, применяемых для распознавания ситуаций, позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективными из них для использования в практике являются дискриминантный (в случае с обучением) и кластерный (для случая без обучения), а при решении задачи распознавания, связанной с отнесением ситуации к одному из двух классов (обнаружение "разладки"), — последовательный. Полученные выводы опосредованно подтверждаются и результатами исследований, проведенных, в частности, в [5, 8—10].

Таким образом, при обработке информации в системе обработки графической информации данные об изменениях интенсивности входного потока проявляются в ней скачкообразно в различные моменты времени. Наиболее эффективным (по быстродействию обнаружения "разладки" при заданной достоверности) является последовательный анализ.

Анализ работ, в частности [11], рассматривающих вопросы сравнительного анализа последовательных алгоритмов обнаружения "разладки" по критерию "быстродействие—достоверность", позволяет выделить метод обнаружения "разладки" на основе последовательного анализа А. Вальда в виде алгоритма кумулятивных сумм как наиболее предпочтительный в практическом отношении.

Предлагается в качестве подхода к анализу и оценке статистических признаков масштабируемых условных знаков использовать последовательный анализ А. Вальда в виде алгоритма кумулятивных сумм. Следующим шагом исследований должен явиться шаг, связанный с рассмотрением основных характеристик процедуры последовательного обнаружения изменения интенсивности пакетов.

Основные характеристики процедуры последовательного обнаружения изменения интенсивности пакетов во входном потоке пакетов

Анализ литературы, посвященной вопросу вероятностного распознавания, в частности [5—8], позволяет утверждать, что обнаружение изменения интенсивности входного потока различными

методами основано на результатах статистических решений. При полной исходной априорной информации эти результаты могут быть использованы непосредственно. При неполной исходной информации они также могут быть основаны на результатах теории статистических решений, хотя в этом случае результаты могут быть использованы лишь путем реализации процедуры обучения (самообучения).

Предположим, что интенсивность входного потока подразделена на классы Ω_1 и Ω_2 (где Ω_1 — текущее состояние интенсивности входного потока; Ω_2 — изменившееся состояние интенсивности входного потока), а для принятия того или иного решения используется некоторый признак x . Известны описания классов — условные плотности распределения вероятностей значений признака состояний интенсивности входного потока классов Ω_1 и Ω_2 , т. е. функции $f_1(x)$ и $f_2(x)$, а также априорные вероятности появления того или иного состояния $P(\Omega_1)$ и $P(\Omega_2)$. По экспериментальным данным определено значение признака x^0 распознаваемого состояния интенсивности входного потока. К какому классу отнести состояние?

Обозначим через x_0 (порог) некоторое неопределенное значение признака x и условимся о следующем правиле принятия решений: если измеренное значение признака u распознаваемого состояния $x^0 > x_0$, то состояние будем относить к классу Ω_2 , а если $x^0 \leq x_0$, то к классу Ω_1 .

Если состояние интенсивности входного потока относится к классу Ω_1 , а его считают состоянием класса Ω_2 , то говорят об ошибке первого рода. По терминологии теории статистических решений [10] ошибочно выработана гипотеза S_2 , в то время как справедлива гипотеза S_1 .

Условная вероятность ошибки первого рода, т. е. вероятность отнесения объекта к классу Ω_2 , когда он относится к классу Ω_1 , может быть представлена как

$$\alpha = \int_{x_0}^{\infty} f_1(x) dx. \quad (1)$$

Если же справедлива гипотеза S_2 , а отдано предпочтение гипотезе S_1 , то совершена ошибка второго рода, условная вероятность которой

$$\beta = \int_{-\infty}^{x_0} f_1(x) dx. \quad (2)$$

В этом случае по терминологии теории статистических решений ошибочно выработана гипотеза S_1 , в то время как справедлива гипотеза S_2 .

В некоторых приложениях теории статистических решений вероятность ошибки первого рода называют вероятностью ложной тревоги (α), а вероятность ошибки второго рода — вероятностью пропуска (β) [8, 11].

Традиционно при последовательном анализе А. Вальда на каждом этапе пространство выборок соответствующего числа наблюдений разделяется на три области: допустимую (G_1), критическую (G_2) и промежуточную ($G_{\text{пром}}$). Если выборочное значение попадает в промежуточную область $G_{\text{пром}}$, то делается следующее наблюдение, и так до тех пор, пока при некотором значении n_{max} размера выборки выборочное значение не попадет в одну из областей, G_1 или G_2 , после чего принимается одна из гипотез: S_1 (при попадании в допустимую область G_1 или класс Ω_1) или S_2 (при попадании в критическую область G_2 или класс Ω_2).

Для случая обнаружения изменения интенсивности входного потока есть некоторое отличие в формировании областей от рассмотренного варианта. Суть заключается в следующем: текущее состояние входного потока характеризуется некоторой интенсивностью (трендом) поступления признаков, описанных в системе обработки графической информации посредством временных рядов, данная область может быть обозначена как $G_{\text{тек}}$; интенсивность поступления признаков может как превышать величину тренда, так и быть ниже ее, т. е., преодолевая значения порогов в сторону увеличения или уменьшения, мы попадаем в критические области $G_{\text{в}}$ и $G_{\text{н}}$. Иными словами, для исследуемой проблемной области гипотеза S_1 будет достоверной при попадании в область $G_{\text{тек}}$ (класс Ω_1), а гипотеза S_2 — при попадании в области $G_{\text{в}}$ и $G_{\text{н}}$ (класс Ω_2).

Критерием качества последовательного правила выбора решения обычно является минимум среднего значения размера выборки, необходимой для принятия решения (после чего процедура последовательного анализа завершается) при заданных значениях вероятностей ложной тревоги (α) и пропуска (β). А. Вальдом показано, что среди всех правил выбора решения (в том числе и непоследовательных, в частности известных критериев байесовского, максимума апостериорной вероятности, максимума правдоподобия, Неймана—Пирсона, минимаксного), для которых условные вероятности ложной тревоги и пропуска сигнала не превосходят α и β , последовательное правило выбора решения, состоящее в

сравнении логарифма отношения правдоподобия $E_k = \ln g(x_1, x_2, \dots, x_k)$ (или отношения правдоподобия $L = \ln g(x_1, x_2, \dots, x_n)$), с двумя порогами, нижним (c_1) и верхним (c_2), приводит к наименьшим средним значениям размера выборок $m_1 \{n | S_1\}$ (при справедливости гипотезы S_1) и $m_1 \{n | S_2\}$ (при справедливости гипотезы S_2).

Аналитическая процедура последовательного анализа в аспекте оценивания интенсивности входного потока может быть выражена следующим образом: при n -м наблюдении принимается гипотеза S_1 , если

$$c_1 \leq \ln g(x_1, x_2, \dots, x_k) \leq c_2, \quad k = 1, 2, \dots, n-1; \quad (3)$$

гипотеза S_2 , если

$$c_1 > \ln g(x_1, x_2, \dots, x_k) \text{ или } c_2 < \ln g(x_1, x_2, \dots, x_k). \quad (4)$$

По исследуемой проблеме известно (см., например, [3–6]), что общего явного вида математического выражения для распределения длительности процедуры последовательного анализа не найдено. Это приводит к поиску компромиссных решений, типичным примером которых является усеченный последовательный анализ. При усеченном последовательном анализе заранее устанавливается максимальное значение объема выборки n_{\max} , при достижении которого последовательная процедура заканчивается и соответствующее отношение правдоподобия сравнивается не с двумя порогами, c_1 и c_2 , а только с одним, $c_{\text{ус}}$, в результате чего обязательно принимается одно из решений.

Выражения для средних значений размера выборок $m_1 \{n | S_1\}$ и $m_1 \{n | S_2\}$, соответствующие последовательному правилу выбора решения (3), (4), получены в [10] и имеют вид

$$m_1 \{n | S_1\} = \left(\frac{1}{m_1} \{ \ln l(x) | S_1 \} \right) \times \left[(1-\alpha) \ln \left(\frac{\beta}{1-\alpha} \right) + \alpha \ln \left(\frac{1-\beta}{\alpha} \right) \right]; \quad (5)$$

$$m_1 \{n | S_2\} = \left(\frac{1}{m_1} \{ \ln l(x) | S_2 \} \right) \times \left[\beta \ln \left(\frac{\beta}{1-\alpha} \right) + (1-\beta) \ln \left(\frac{1-\beta}{\alpha} \right) \right]. \quad (6)$$

Следующей важной характеристикой процедуры последовательного обнаружения изменения

интенсивности входного потока являются верхний и нижний пороги (c_2 и c_1).

Традиционно их величины определяют исходя из следующих соображений [9].

Допустим, что проведена серия, состоящая из n экспериментов, в результате которых определены признаки x_1, \dots, x_n ($n < N$). Сопоставим отношение n -мерных функций плотностей распределения вероятностей

$$L = \frac{f_1(x_1, \dots, x_n)}{f_2(x_1, \dots, x_n)} \quad (7)$$

с величинами c_1 и c_2 , где L — отношение правдоподобия.

Предположим, что после измерения n признаков $L = c_2$. Тогда, обозначив $X_n = \{x_1, \dots, x_n\}$, получим

$$f_1(X_n) = L f_2(X_n), \quad (8)$$

или

$$\int_{G_B} f_1(X_n) dX_n = L \int_{G_B} f_2(X_n) dX_n, \quad (9)$$

где G_B — область пространства признаков, соответствующая классу Ω_2 .

Согласно определению ошибок первого (вероятность ложной тревоги α) и второго рода (вероятность пропуска β) формулу (9) можно записать как

$$1 - \alpha = c_2 \beta. \quad (10)$$

Аналогичные рассуждения приводят к соотношению

$$\alpha = c_1 (1 - \beta). \quad (11)$$

Отсюда в общем случае

$$c_1 = \frac{\alpha}{1-\beta}; \quad c_2 = \frac{1-\alpha}{\beta}. \quad (12)$$

Следовательно, для определения величин порогов c_1 и c_2 необходимо задать допустимые значения α и β . Подчеркнем, что при последовательной процедуре выбора решения (в отличие, в частности, от байесовского метода), предусматривается сравнение отношения правдоподобия с порогами c_1 и c_2 , не зависящими от априорных вероятностей наличия или отсутствия сигнала и от потерь.

Конкретные аналитические выражения, описывающие правила расчета значений порогов c_1 и

c_2 для различных распределений, приведены в ряде источников (см., например, [11]). Представленные далее выражения получены для экспоненциального распределения вида $\omega(x) = \lambda e^{-\lambda x}$, $x \geq 0$, $\lambda \geq 0$, применяемого в задачах последовательного обнаружения [4, 10]:

$$\begin{aligned} c_1(m|\lambda_1) &= \frac{2\lambda_1 \left[m \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) + \ln\left(\frac{\alpha}{1-\beta}\right) \right]}{\lambda_2 - \lambda_1}; \\ c_2(m|\lambda_1) &= \frac{2\lambda_1 \left[m \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) + \ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right) \right]}{\lambda_2 - \lambda_1}, \end{aligned} \quad (13)$$

где λ_1, λ_2 — параметры экспоненциального распределения;
 m — размер выборки.

Проведенный анализ исследований в области представления основных характеристик процедуры последовательного обнаружения "разладок", в частности изменения интенсивности входного потока, в аналитическом виде (m ; c_1 и c_2 , а также среднего времени запаздывания в обнаружении "разладки" τ) позволяет сделать однозначный вывод о том, что они зависят от величин ошибок первого (α) и второго (β) рода.

Традиционно (см., например, [4–7, 12]), значения указанных параметров задаются должностными лицами исходя из особенностей выполнения стоящих на практике задач, а в литературе по данной проблематике отсутствуют исследования, позволяющие оценить обоснованность тех или иных решений выбора величин α и β .

Следовательно, интерес для последующих исследований представляет поиск путей, позволяющих обосновывать выбор значений ошибок первого и второго рода с требуемой точностью для обнаружения изменения интенсивности входного потока в зависимости от различного рода факторов.

Обоснование выбора ошибок первого и второго рода при обнаружении изменений интенсивности входного потока пакетов

Традиционный подход, изложенный в большинстве исследований (см., например, [9, 11, 12]), к определению величин вероятностей ложной тревоги и пропуска сводится к выражениям (1) и (2). Однако, несмотря на внешнюю простоту, их использование в практических целях затруднено: обычно не известен закон распределения вероят-

ностей; использование нормального закона распределения, во-первых, приводит к погрешностям результатов, во-вторых далеко не всегда известными параметрами являются математическое ожидание и дисперсия (или среднеквадратическое отклонение) случайной величины. Именно поэтому значения α и β обычно задают [9, 11]: их величины стремятся выбирать минимальными, но при этом отсутствует какое-либо строгое обоснование.

Для того чтобы математически обосновать необходимость выбора тех или иных значений α и β , рассмотрим следующий подход.

Предположим, что вероятность правильного обнаружения изменения интенсивности входного потока ($P_{\text{прав.об}}$), вероятность правильного необнаружения ($P_{\text{прав.необ}}$), α и β образуют полную группу событий:

$$P_{\text{прав.об}} + P_{\text{прав.необ}} + \alpha + \beta = 1.$$

Учитывая тот факт, что при обнаружении масштабируемых признаков происходит анализ всех пакетов, поступающих на вход ГИС "ГеоГлобус", полную группу событий можно представить как

$$P_{\text{прав.об}} + \alpha + \beta = 1. \quad (14)$$

Определив величину $P_{\text{прав.об}}$, получим

$$1 - P_{\text{прав.об}} = \alpha + \beta. \quad (15)$$

Поскольку обычно полагают $\alpha = \beta$, получаем величины вероятностей ложных срабатываний и пропусков.

Величину $P_{\text{прав.об}}$ можно получить исходя из следующих соображений.

Будем полагать, что если случайные величины (например, значения интенсивности) попадают в некоторый интервал, то обязательно выполняется условие $P_{\text{прав.об}} \geq P_{\text{прав.об.треб.}}$, где $P_{\text{прав.об.треб.}}$ — требуемая вероятность правильного обнаружения изменения интенсивности входного потока. Иными словами, при попадании значения интенсивности в некоторый доверительный интервал его обязательно обнаружат: $P_{\text{поп}} = P_{\text{прав.об.треб.}}$, где $P_{\text{поп}}$ — вероятность попадания значения интенсивности в интервал.

В ряде источников, в частности в [9, 13], вероятность попадания $P_{\text{поп}}$ называют доверительной вероятностью. Доверительный интервал в данном случае обозначим как $I_{P_{\text{поп}}}$.

Предположим, что есть апостериорные сведения (доверительные границы) об интервальном диапазоне изменений интенсивности.

Обозначим доверительные границы через λ^+ и λ^- . Очевидно, что λ^+ и λ^- должны находиться в пределах некоторой ($\varepsilon_{P_{\text{поп}}}$) окрестности доверительного интервала $I_{P_{\text{поп}}}$ от математического ожидания $\bar{\lambda}$ значения интенсивности.

Тогда

$$\bar{\lambda} = \lambda^+ + \varepsilon_{P_{\text{поп}}}; \quad (16)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda^- - \varepsilon_{P_{\text{поп}}}; \quad (17)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda^+ + \lambda^-}{2}. \quad (18)$$

Из формул (16) и (17) найдем $\varepsilon_{P_{\text{поп}}}$:

$$\bar{\lambda} - \lambda^+ = \varepsilon_{P_{\text{поп}}}; \quad (19)$$

$$\bar{\lambda} - \lambda^- = \varepsilon_{P_{\text{поп}}}. \quad (20)$$

Из [5] известно, что $\varepsilon_{P_{\text{поп}}}$ может быть представлена как

$$\varepsilon_{P_{\text{поп}}} = t_{P_{\text{поп}}} \sigma_{\bar{\lambda}}, \quad (21)$$

где $t_{P_{\text{поп}}}$ — число среднеквадратических отклонений, которое необходимо отложить вправо и влево от центра рассеивания (математического ожидания), чтобы вероятность попадания в интервал была равна $P_{\text{поп}}$;

$\sigma_{\bar{\lambda}}$ — среднеквадратическое отклонение значений интенсивности $\lambda_i \in (\lambda_1, \lambda_n)$ от их математического ожидания $\bar{\lambda}$:

$$t_{P_{\text{поп}}} = \frac{\varepsilon_{P_{\text{поп}}}}{\sigma_{\bar{\lambda}}}. \quad (22)$$

В свою очередь

$$\sigma_{\bar{\lambda}} \approx \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}, \quad (23)$$

где \tilde{D} — несмещенная дисперсия случайных значений интенсивности;
 n — количество значений интенсивности.

Согласно [4] \tilde{D} может быть определена:

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n-1}, \quad (24)$$

где λ_i — i -е значение интенсивности.

Тогда

$$t_{P_{\text{поп}}} = \frac{\varepsilon_{P_{\text{поп}}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\lambda_i - \frac{\lambda^+ + \lambda^-}{2} \right)^2}{n(n-1)}}}. \quad (25)$$

В ряде источников, в частности в [5], приведены специальные таблицы, позволяющие упростить математические вычисления при определении величины $P_{\text{поп}}$.

В табл. 1 приведены соотношения между значениями $t_{P_{\text{поп}}}$ и $P_{\text{поп}}$.

Таблица 1

Соотношения между $t_{P_{\text{поп}}}$ и $P_{\text{поп}}$

$P_{\text{поп}}$	$t_{P_{\text{поп}}}$	$P_{\text{поп}}$	$t_{P_{\text{поп}}}$
0,80	1,282	0,91	1,694
0,81	1,310	0,92	1,750
0,82	1,340	0,93	1,810
0,83	1,371	0,94	1,880
0,84	1,404	0,95	1,960
0,85	1,439	0,96	2,053
0,86	1,475	0,97	2,169
0,87	1,513	0,98	2,325
0,88	1,554	0,99	2,576
0,89	1,597	0,9973	3,000
0,90	1,643	0,999	3,290

Основываясь на полученном значении $P_{\text{поп}}$ (в силу условия $P_{\text{поп}} = P_{\text{прав.об}}$) и результатах, полученных в ряде источников [4, 5], можно математически обосновать выбор тех или иных значений α и β .

Предложенный подход обеспечивает математическое обоснование выбора значений α и β .

Однако предложенный подход не позволяет при расчетах учитывать для оценки среднеквадратического отклонения такой важный параметр, как погрешность измерения ε , в то время как в ряде исследований, в частности в [11, 13], проведенных в рамках теории ошибок, указывается на необходимость учета точности измерений по причине ее значительного влияния на погрешность итогового значения величин α и β .

В связи с перечисленным рассмотрим еще один подход к обоснованию выбора величин вероятностей α и β .

Предположим, что есть какое-то множество измеренных с некоторой погрешностью ε значений признака $\lambda_i^* \in [\lambda_1^*, \lambda_n^*]$.

Математическое ожидание $\bar{\lambda}^*$ для данного множества может быть вычислено как

$$\bar{\lambda}^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i^*. \quad (26)$$

Дисперсия случайных значений признака, измеренных с некоторой погрешностью ε , и среднеквадратическое отклонение σ_{λ}^* могут быть рассчитаны как

$$D^* = \frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i^* - \bar{\lambda}^*)^2}{n-1} \Rightarrow \sigma_{\lambda}^* \approx \sqrt{\frac{D^*}{n}}. \quad (27)$$

Истинные значения признака (некоторые могут быть получены, например, на основе предварительных наблюдений) обозначим через $\lambda_i \in [\lambda_1, \lambda_n]$. Тогда погрешность измерения в явном виде может быть представлена как

$$|\lambda_i - \lambda_i^*| = \varepsilon_i. \quad (28)$$

Математическое ожидание погрешности измерения значений признака

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i. \quad (29)$$

Тогда

$$D_{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n-1} \Rightarrow \sigma_{\varepsilon} \approx \sqrt{\frac{D_{\varepsilon}}{n}}. \quad (30)$$

В ряде источников предлагается следующий вариант обоснования выбора значений α и β :

$$\alpha = \beta \cong \frac{\sigma_{\varepsilon}}{4 \sigma_{\lambda}^*} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{D_{\varepsilon}}{D^*}}. \quad (31)$$

Выражение (31) позволяет вычислять величины вероятностей α и β достаточно просто, что, свою очередь, говорит о возможности его применения на практике.

Изложенные подходы позволяют обосновать выбор величин вероятностей α и β в зависимости от различных исходных данных. Интерес представляет их сравнительное исследование.

Анализ [6, 11, 13], где рассматривается возникновение различных погрешностей (например, в рамках теории ошибок), позволяет сделать вывод о том, что в качестве критерия оценки результатов может быть выбрана так называемая мера точности. Мерой точности называют величину, обратно пропорциональную среднеквадратическому отклонению σ :

$$h = \frac{1}{\sigma \sqrt{2}}. \quad (32)$$

Термин "мера точности" заимствован из теории ошибок измерений: чем точнее измерение, тем больше мера точности. Корректность применения (32) для текущих исследований обосновывается поставленной в них целью: сравнить по точности величины α и β , полученные различными методами расчета. Таким образом, решение сформулированной задачи сравнительной оценки по точности полученных результатов (32) сводится к определению величины σ .

Достоинством выбранного показателя является также тот факт, что в него в качестве параметра входит среднеквадратическое отклонение, которое наряду с математическим ожиданием наиболее полно описывает законы распределения погрешностей случайных величин.

Предположим, что оценивание интенсивности входного потока в ГИС "ГеоГлобус" осуществляется один раз в час. При этом в силу ряда причин (например, из-за программных сбоев) оценивание (измерение) интенсивности входного потока может происходить с погрешностью.

Под сбоем будем понимать кратковременное самоустранившееся нарушение правильной работы программы. Допустим также, что величина погрешности оценивания интенсивности входного потока не превышает допустимой. В ряде источников, в частности в [11, 13, 14], под допустимой погрешностью понимают погрешность, величина которой не превышает 15–20 % от номинала.

Обобщенные данные об интенсивности пакетов в ГИС "ГеоГлобус" в течение суток приведены в табл. 2.

Таблица 2

Обобщенные данные об интенсивности пакетов
в ГИС "ГеоГлобус" в течение суток

n	λ_i , тыс. пакетов/с	λ_i^* , тыс. пакетов/с	n	λ_i , тыс. пакетов/с	λ_i^* , тыс. пакетов/с
1	15,8	15,9	13	19,2	19,3
2	13,2	13,1	14	16,3	16,4
3	11,5	11,6	15	11,3	11,4
4	16,7	16,6	16	14,3	14,4
5	9,6	10,0	17	16,9	17,0
6	15,8	15,9	18	13,2	13,3
7	14,3	14,4	19	10,4	10,5
8	12,3	12,4	20	12,4	12,5
9	10,2	10,3	21	10,6	10,7
10	14,6	14,7	22	14,3	14,4
11	15,8	15,9	23	12,4	12,5
12	17,9	18,0	24	15,8	15,9

Оценим значения α и β для варианта, когда сбои программ отсутствуют и подсчитывается истинное значение интенсивности входного потока в ГИС "ГеоГлобус".

Согласно (18) $\bar{\lambda} = 14,4$. Из (16) и (17) имеем $\varepsilon_{P_{\text{поп}}} = 4,8$.

Согласно выражениям (23) и (24)

$$\sigma_{\bar{\lambda}} \approx \sqrt{\frac{D}{n}}; \quad D = 7,036; \quad \Rightarrow \sigma_{\bar{\lambda}} \approx 0,54.$$

Тогда из (25) имеем $t_{P_{\text{поп}}} \approx 8,87$.

По табл. 2 устанавливаем, что $P_{\text{прав.об}} \rightarrow 1$.

Иными словами, по (25) $(\alpha = \beta) \rightarrow 0$. Традиционно авторы [8, 9] в этом случае полагают $\alpha = \beta \approx 0,01$. Мера точности для данного случая по (32) $h_1 \approx 1,306$.

Рассмотрим второй подход к обоснованию выбора величин α и β .

По (26) вычисляем

$$\bar{\lambda}^* = 14,046.$$

По (27) $D \approx 6,644$; $\sigma_{\bar{\lambda}^*}^* \approx 0,526$.

По (29) $\bar{\varepsilon} = 0,129$.

По (30) $D_{\varepsilon} \approx 0,01$; $\sigma_{\varepsilon} \approx 0,02$.

Согласно выражению (31) получаем $\alpha = \beta \approx 0,01$.

В данном случае мера точности может быть оценена следующим образом (см. (32)):

$$h_2 = \frac{1}{(\sigma_{\varepsilon} + \sigma_{\bar{\lambda}^*}^*)\sqrt{2}}. \quad (33)$$

Выражение (33) не противоречит подходам, изложенным в [4].

Мера точности по (33) $h_2 \approx 1,294$.

Итак, рассмотрены два подхода к обоснованию выбора величин α и β . Проведенные исследования позволяют сформулировать промежуточные выводы: во-первых, предложены математически обоснованные механизмы выбора значений α и β ; во-вторых, подходы рассмотрены для различных условий оценивания значений признака (истинных и с погрешностями); в-третьих, предложен механизм учета параметра погрешности измерений значений признака; в-четвертых, оценена мера точности для различных подходов; в-пятых, получены конкретные количественные значения для α и β в рамках примера.

В сравнительном аспекте графическое представление величин α и β , и соответствующих им мер точности, полученных с помощью различных подходов, приведено на рис. 1 и 2.

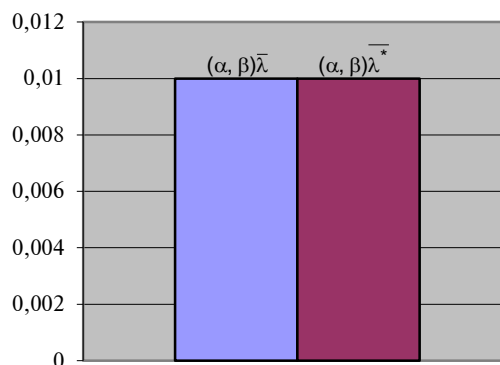


Рис. 1. Сравнительное графическое представление α и β

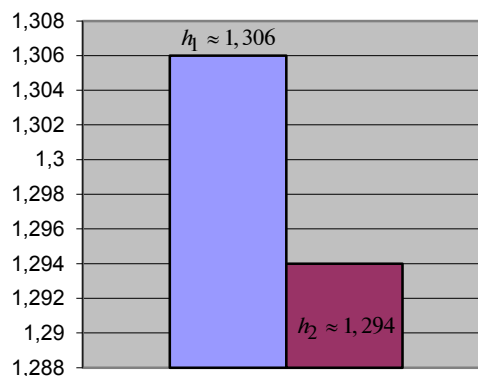


Рис. 2. Сравнительное графическое представление мер точности для различных подходов

Полученные значения α и β , в свою очередь, позволяют рассчитывать значения порогов c_1 и c_2 по выражению (12) или (13). Графическое представление зависимости порогов c_1 и c_2 от α и β приведено на рис. 3 (рассчитано по выражению (12)).

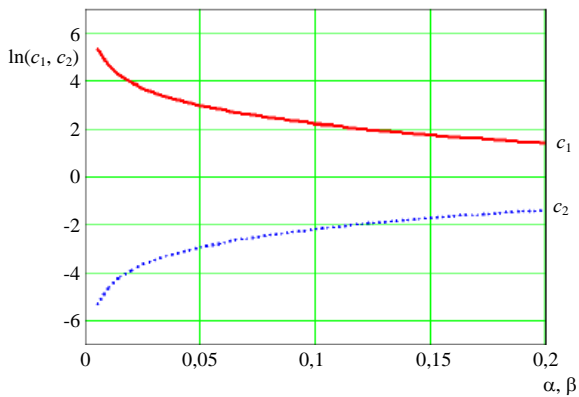


Рис. 3. Зависимость порогов c_1 и c_2 от α и β

Из изложенного следует, что предложенные подходы позволяют математически обосновать выбор величин α и β , тем самым обеспечив исходные условия для расчета значений основных характеристик последовательного анализа А. Вальда в виде алгоритма кумулятивных сумм.

Блок-схема обобщенного алгоритма статистического подхода к поиску масштабируемых признаков представлена на рис. 4.

Алгоритм работает следующим образом. В п. 1 производится накопление сведений об интенсивности входного потока (могут задаваться по ранее набранной статистике). В п. 2 производится вычисление значений ошибок первого (α) и второго (β) рода по одинаковым подходам (см. (14)—(25), (26)—(31)). В п. 3 производится вычисление средних размеров выборок по формулам (5), (6). В п. 4 вычисленные значения средних размеров выборок сравниваются с размером ранее накопленной выборки. Если вычисленные значения средних размеров выборок не совпадают с размером ранее накопленной выборки, то происходит переход к п. 6. В п. 6 производится пополнение ранее накопленной выборки до вычисленных значений средних размеров выборок, после чего происходит переход к п. 2. Если вычисленные значения средних размеров выборок совпадают с размером ранее накопленной выборки, то происходит переход к п. 5. В п. 5 производится вычисление значений верхнего и нижнего порогов (см. (13)). В п. 7 происходит вычисление текущего значения интенсивности входного потока. В п. 8 вычисленные значения верхнего и нижнего порогов сравниваются с текущим значением интенсивности входного потока. Если текущая интенсивность соответствует значению между порогом, то происходит переход к п. 7. В случае несоответствия текущей интенсивности значению между порогом выдается сигнал о наличии немасштабируемого признака и применяются алгоритмы поиска масштабируе-

мых признаков. Работа алгоритма на данном шаге заканчивается.

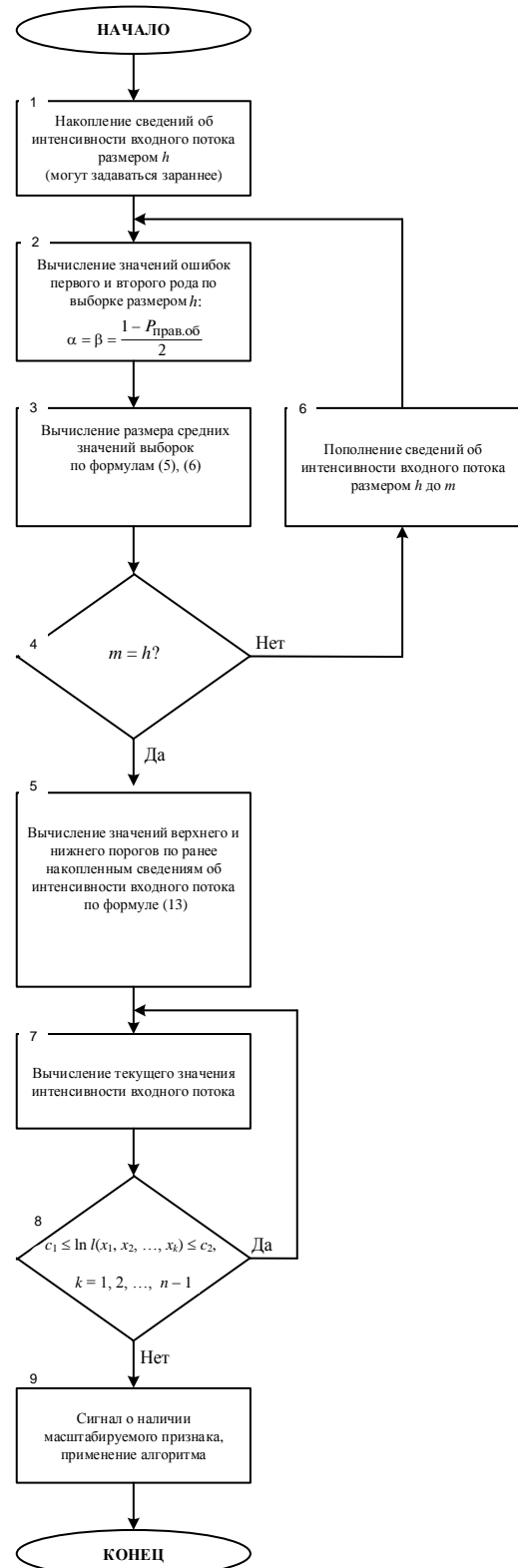


Рис. 4. Блок-схема обобщенного алгоритма поиска масштабируемых признаков по статистическим признакам

Разработанный алгоритм поиска масштабируемых объектов по статистическим признакам позволяет отслеживать изменения интенсивности входного потока в целях обнаружения масштабируемых признаков при помощи последовательного анализа А. Вальда в виде алгоритма кумуля-

тивных сумм. Данный факт позволит системе обработки графической информации оценивать интенсивность поступления пакетов в реальном масштабе времени, а соответственно, и своевременно обнаруживать масштабируемые пакеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сердюк В. А. Новое в защите от взлома корпоративных систем. — М.: Техносфера, 2007. — 360 с.
2. Лукацкий А. В. Обнаружения атак. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 624 с.
3. Корт С. С. Теоретические основы защиты информации. — М.: Гелиус-АРВ, 2004. — 233 с.
4. Тараскин М. М. Теоретические проблемы поддержки выработки решения при рассмотрении ситуации в автоматизированных информационных системах. — СПб.: ВУС, 2002. — 332 с.
5. Никифоров И. В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. — М.: Наука, 1983. — 200 с.
6. Жиглявский А. А., Красковский А. Е. Обнаружение разладки случайных процессов в задачах радиотехники. — Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. — 224 с.
7. Тартаковский А. Г. Последовательные методы в теории информационных систем. — М.: Радио и связь, 1991. — 280 с.
8. Горелик А. Л., Скрипник В. А. Методы распознавания: учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. школа, 1977. — 222 с.
9. Горелик А. Л., Скрипник В. А. Методы распознавания: учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. школа, 1977. — 222 с.
10. Дубров А. М., Мхитарян В. С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы: учебник. — М.: Финансы и статистика, 1998. — 352 с.
11. Ширяев А. Н. К обнаружению разладок производственного процесса // Теория вероятностей и ее применения. 1963. Вып. 4. № 8. С. 431—443.
12. Бухалев В. А. Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой. — М.: Физматлит, 1996. — 288 с.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 2-е, перераб. и дополн. — М.: Физматлит, 1962. — 564 с.
14. Калявин В. П., Мозгалецкий А. В., Галка В. Л. Надежность и техническая диагностика судового электрооборудования и автоматики: учебник. — СПб.: Элмор, 1996. — 296 с.

SCALABLE OBJECT SEARCH ALGORITHM IN THE GRAPHIC INFORMATION PROCESSING SUBSYSTEM IN THE GEOINFORMATION SYSTEM "GEOGLOBUS" (STATISTICAL APPROACH)

M. M. Taraskin, R. G. Husnulin

Military Unit № 11928, Moscow, Russia

The article considers the use of A. Wald's sequential analysis in the form of a cumulative sum algorithm as an approach to analyzing and evaluating statistical features of scalable objects. The analysis of the choice of mathematical apparatus for the study of statistical properties of the search algorithm for scalable objects based on statistical characteristics is given. The article also discusses the rationale for choosing errors of the first and second kind when detecting changes in the intensity of the input stream of packets.

Keywords: geographic information system, graphical information, algorithm, scalable object.

Bibliography — 14 references.

Received October 25, 2020

УДК 623

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_13

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТЬЮ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ВОИНСКОЙ ЧАСТИ

Ю. А. Заяц, д-р техн. наук; А. В. Шабанов

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, г. Рязань, Россия

Показана актуальность разработки информационной модели управления технической готовностью военной автомобильной техники как следствие требований мониторинга и развития цифровых технологий и отсутствия научно-методического аппарата. Разработана концептуальная информационная модель системы управления технической готовностью военной автомобильной техники воинской части, отличительной особенностью которой являются прогнозирование технического состояния техники и методика оценки технической готовности изделий и воинской части в целом. Показаны ее комплексность и многофункциональность.

Ключевые слова: информационная модель, техническая готовность, принятие решения, система управления технической готовностью, военная автомобильная техника.

Получение объективной информации о реальном положении дел в различных структурах и организациях для руководителей любых уровней всегда являлось одной из главных задач как при оперативном управлении, так и при выборе стратегии развития. Развитие цифровых технологий позволяет вывести решение этой задачи на новый качественный уровень. Применительно к силовым ведомствам эти задачи трансформируются из дискретного предоставления данных в непрерывное. Так, информации о техническом состоянии военной автомобильной техники, выражаемой в значениях коэффициента технической готовности для воинской части [1, 2] (или готовность парка изделий по ГОСТ 18322-78 [3]), уже явно недостаточно. Процесс управления технической готовностью военной автомобильной техники воинской части (ТГ ВАТ в/ч) базируется на получении информации о состоянии объекта и последующем воздействии на него. Эффективное управление ТГ ВАТ в/ч должно базироваться на непрерывном, полном и достоверном потоке информации об окружающей обстановке и внутренних изменениях в системе. Таким образом, требуется мони-

торинг следующих аспектов деятельности воинских частей:

- остаточного ресурса военной автомобильной техники с построением вариационного ряда отказов элементов, систем, агрегатов, вызывающих отказ изделия в целом либо частичную потерю работоспособности [4];
- коэффициента технической готовности, выраженного во временных показателях для каждой единицы ВАТ [5];
- показателя технической готовности ВАТ воинской части, построенного на методологической базе, позволяющей отразить способность воинской части выполнить задачи по назначению;
- других аспектов, связанных с готовностью вооружения, военной и специальной техники, видами обеспечения, эффективностью антитеррористической деятельности, безопасностью военной службы и т. д.

Определение состояния и анализ уровня технической готовности воинской части, а также выбор направлений воздействия для ее поддержания на требуемом уровне являются актуальной и сложной организационно-технической задачей. Необходимость и актуальность решения задачи оценки технической готовности прослеживаются от уровня командира взвода до национального центра обороны. Командование воинской части имеет дело с многофакторной, плохо структурированной задачей, решение которой не является очевидным. Ресурсные ограничения различной природы порождают наличие множества решений при управлении технической готовностью воинской части.

Заяц Юрий Александрович, профессор, декан факультета.

E-mail: sajua@yandex.ru

Шабанов Александр Васильевич, заместитель начальника учебной части.

E-mail: shabanov_021@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2020 г.

© Заяц Ю. А., Шабанов А. В., 2021

Получаемая информация должна быть объективной, ее первичное получение — не связано с целенаправленным ручным вводом, а ее актуальность и достоверность — обеспечиваться автоматизированной системой управления воинской части. Идентичность информации, методов ее обработки для всех уровней управления определяет ее востребованность как в подразделениях воинской части, так и в органах военного управления.

Таким образом, на данном этапе возрастает актуальность решения задач, направленных на создание методики оценивания и сравнения результатов различных видов деятельности воинской части в реальном масштабе времени. Особенностью такой методики является замкнутость (наличие обратной связи) системы управления технической готовностью.

Учитывая, что система управления ТГ ВАТ в/ч представляет собой набор множества разнородных, но взаимосвязанных элементов (сущностей) и оказывающих на них влияние свойств, можно утверждать, что система управления ТГ ВАТ в/ч представляет собой сложную организационно-техническую систему. Описание и моделирование таких систем возможно с использованием методов системно-информационного анализа [6]. Наличие требований взаимосвязи между результатами сравнения и оценивания и принятыми управленческими решениями позволяет высказать предположение о необходимости разработки на начальном этапе информационной модели системы управления ТГ ВАТ в/ч.

Необходимость применения информационных моделей обусловлена возможностью представлять сложные процессы (системы) в виде графических форм (графа, блок-схемы, алгоритма решения задачи, диаграммы). Отличительной чертой информационных моделей является способность работать в режиме реального времени с информацией (данными) об объекте. Достаточным набором данных для построения информационной модели системы управления ТГ ВАТ в/ч являются информация о состоянии системы, ее цели, имеющиеся внутренние и внешние ресурсы, время для достижения этих целей и необходимые для этого действия. Концептуальная информационная модель позволяет выстроить эффективную систему управления ТГ ВАТ в/ч.

Для построения концептуальной информационной модели на первом этапе необходимо определить состав системы (сущности) управления ТГ ВАТ в/ч. К составу системы можно отнести: начальное техническое состояние ВАТ

объекта; организацию эксплуатации ВАТ и эксплуатационные режимы, определяющие техническое состояние ВАТ; ресурсное обеспечение (укомплектованность в/ч водителями и специалистами ремонтно-восстановительных органов (РВО), инфраструктура, качество и количество горюче-смазочных материалов (ГСМ), автомобильного имущества (АИ), запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП)).

На втором этапе определим и опишем операторы системы и построим концептуальную информационную модель управления ТГ ВАТ в/ч (рисунки).

Оператор N является оператором, изменяющим структурные параметры под действием внутренних и внешних воздействий, а также управляющих решений. Входными данными являются значения следующих параметров:

- X_n (начальное техническое состояние ВАТ в/ч);
- I_S (внешние воздействия на объект);
- O_U (внутренние возмущения системы);
- U (управляющие воздействия).

В результате работы данного оператора формируется поток данных X , характеризующий множество состояний объектов ВАТ.

В результате эксплуатации и применения образца ВАТ поток данных X обрабатывается оператором A при реальных ошибках измерения контролируемых параметров Y .

Эта первичная информация поступает в бортовую систему, а затем дублируется в базе данных (БД) типовой конструкции и БД технической готовности транспортного средства (ТС) обслуживающей организации в offline-режиме. Если проведенные воздействия относятся к агрегату, создаются БД типовой конструкции агрегатов. В указанных БД скапливается массив статистической информации о воздействиях и соответствующих им распределениях наработки по режимам работы и условиям эксплуатации. Поток для входа такой информации в БД с ТС открыт [7].

В результате происходит непрерывное изменение наработки на эксплуатационных режимах, а выходом из оператора A является прогнозируемый вариационный ряд отказов X_r . Полученный остаточный ресурс X_r до отказа каждого образца ВАТ с учетом погрешностей обработки информации и идентификации состояний образца ВАТ Y_l в процессе эксплуатации позволяет оценить с помощью оператора D его техническое состояние.

Оператор **М** по запросу моделирует получение возможных уровней ТГ БАТ в/ч при различных ресурсах X_R с учетом погрешностей модели Y_M . Разработанная модель уровня ТГ БАТ в/ч позволяет:

- определить базовое значение уровня ТГ БАТ в/ч;
- рассчитать стоимость увеличения значения фактора на один пункт;
- определить значение уровня при увеличении значения факторов;
- определить наиболее эффективное распределение ресурсов для повышения значения факторов, что приведет к повышению уровня ТГ БАТ в/ч;
- рассчитать прирост уровня ТГ БАТ в/ч после проведенных мероприятий.

С учетом требований многофункциональности оператор **Н** фиксирует (выбирает) цель из множества возможных L и передает ее оператору **К** для выработки и принятия решения, направленного на поддержание и повышение уровня ТГ образца БАТ в/ч.

Ключевым оператором системы является оператор **К** выработки и принятия управленческих решений, связанных с обеспечением, поддержанием и повышением уровня ТГ в/ч. Результатом работы оператора **К** является управленческое решение, формирующее управляющее воздействие U . На входе в оператор:

- поток информации X_U о текущем уровне ТГ БАТ в/ч;
- поток информации по сравнительной оценке J с выбранными прототипами сравнения;
- результаты моделирования M_K ;
- информация о выбранной цели управления H_K ;
- поток информации о внутренних ресурсах O_R ;
- погрешность выбора решений Q , определяемая другими факторами.

Разработанная концептуальная информационная модель системы управления ТГ БАТ в/ч отвечает принципам многофункциональности и комплексности. Комплексный аспект предполагает единую методическую и информационную

базу для оценки уровня технической готовности как отдельного изделия БАТ, так и подразделения или воинской части в целом.

Многофункциональный аспект предполагает использование методического аппарата и единой информационной базы для решения различных задач благодаря структурной декомпозиции механизма вычислений при единстве исходных данных:

- оценки уровня технической готовности изделий БАТ и воинской части в целом;
- управления уровнем технической готовности изделий БАТ и воинской части в целом;
- сравнительной оценки уровня технической готовности изделий БАТ различных типов;
- решения задач ресурсного обеспечения воинских частей (подразделений).

Таким образом, на основании разработанной концептуальной информационной модели системы управления ТГ БАТ в/ч можно сделать следующие выводы.

Актуальность разработки информационной модели управления технической готовностью БАТ обосновывается тенденцией к мониторингу различных направлений деятельности воинских частей, необходимостью создания научно-методического аппарата и возросшими возможностями программно-аппаратного обеспечения вычислительных систем. Применение информационных технологий в управлении технической готовностью БАТ позволяет работать с большими объемами информации, обрабатывать слабо структурированную информацию, повышать оперативность принятия решений, интегрировать разнообразные типы данных в единую систему.

Разработанная концептуальная информационная модель системы управления ТГ БАТ в/ч отвечает принципам многофункциональности и комплексности. В ней впервые применены концепция прогнозирования технического состояния изделий БАТ, построенная на адаптивных принципах учета наработки, на эксплуатационных режимах, и методика прогнозирования уровня технической готовности как результат системно-информационного анализа с применением когнитивного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по подготовке и проведению проверок состояния ВВСТ в соединениях и воинских частях Воздушно-десантных войск Утв. командующим ВДВ в 2017 г. — М., 2017. — 38 с.
2. Приказ МО РФ 2017 г. № 605 "Об утверждении Руководства по проверке и оценке состояния вооружения и военной техники общевойсковой назначения в Вооруженных Силах Российской Федерации".

3. ГОСТ 18322–78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
4. Заяц Ю. А., Заяц Т. М. Концептуальная модель управления технической готовностью транспортных средств с использованием современных информационно-коммуникационных технологий // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2016. Т. 4. № 5-4(25-4). С. 255–259.
5. Заяц Ю. А., Сальников А. В. Расчет коэффициента технической готовности образцов военной автомобильной техники по временным показателям // Научный резерв. 2018. № 4. С. 36–40.
6. Заяц Т. М. Системно-информационный анализ учетно-планирующей деятельности специалиста автомобильной службы // Техника и технологии. 2005. № 2(8). С. 60–62.
7. Заяц Т. М., Слуцкий К. А. Системно-информационный анализ факторов, влияющих на уровень боеготовности вооружения боевой машины // Научный резерв. 2019. № 2(6). С. 38–47.

CONCEPTUAL INFORMATION MODEL OF THE MANAGEMENT SYSTEM TECHNICAL READINESS OF MILITARY AUTOMOTIVE EQUIPMENT OF THE MILITARY UNIT

Yu. A. Zayats, A. V. Shabanov

Ryazan Guards Higher Airborne Command School, Ryazan, Russia

The relevance of the development of an information model for managing the technical readiness of military automotive equipment as a result of the requirements of money-trading and the development of digital technologies and the lack of a scientific and methodological apparatus is shown. A conceptual information model of a system for controlling the technical readiness of military automotive equipment of a military unit has been developed, a distinctive feature of which is the prediction of the technical state of equipment and the methodology for assessing the technical readiness of products and the military unit as a whole. Its complexity and multifunctionality are shown.

Keywords: information model, technical readiness, decision-making, technical readiness management system, military automotive equipment.

Bibliography — 7 references.

Received November 12, 2020

УДК 658.5

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_18

ПОСТРОЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПВО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ MBSE

М. Е. Дьячков; П. А. Кобелев

Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Научно-образовательный центр ВКО «Алмаз-Антей», Москва, Россия

Р. В. Шевченко, канд. техн. наук

АО «Рязанское производственно-техническое предприятие «Гранит», Рязань, Россия

Рассмотрены методология модельно-ориентированного системного инжиниринга (MBSE) и её применение при построении моделей искусственных объектов. В качестве примера приведено построение архитектурной модели методики оперативно-производственного планирования производственного процесса сервисного обслуживания вооружения и военной техники ПВО сухопутных войск с использованием приёмов прикладного системного инжиниринга.

Ключевые слова: оперативно-производственное планирование, сервисное обслуживание, вооружение и военная техника, ПВО, производственный процесс, система 2.0, жизненный цикл продукта, модель иерархической таксономии.

Оперативно-производственное планирование в системе сервисного обслуживания вооружения и военной техники (ВВТ) ПВО сухопутных войск является малоизученной предметной областью. Так как работы по сервисному обслуживанию образцов ВВТ проводят в местах постоянной дислокации воинских частей, для их осуществления применяют бригадный метод, при котором группа исполнителей, специализированная по типам изделий или операциям технического обслуживания, выполняет операции на группе изделий военной техники одного или нескольких типов [1]. Задача-

ми оперативно-производственного планирования (ОПП) в данном случае являются соблюдение сроков выполнения работ, их своевременное материально-техническое обеспечение, анализ технического состояния обслуживаемых изделий до командирования специалистов в воинскую часть, составление плана основных работ и оперативное регулирование (диспетчирование) основного производства.

Производственный процесс сервисного обслуживания образцов ВВТ в войсковых условиях представлен на рис. 1.

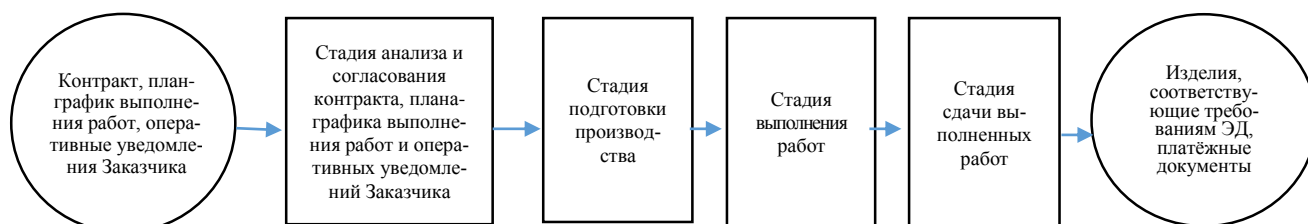


Рис. 1. Стадии производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО [2]

Дьячков Максим Евгеньевич, аспирант.

E-mail: ya_max@inbox.ru

Кобелев Пётр Андреевич, аспирант.

E-mail: kblv.pa@gmail.com

Шевченко Роман Викторович, заместитель главного инженера.

E-mail: srv3000@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17 января 2021 г.

© Дьячков М. Е., Кобелев П. А., Шевченко Р. В., 2021

На основании плана-графика работ на календарный год, который Заказчик (Министерство обороны РФ) предоставляет предприятию-исполнителю государственного контракта, осуществляется планирование командирования бригад специалистов в воинские части для проведения сервисного обслуживания изделий ВВТ указанной в плане-графике номенклатуры.

На предприятиях отрасли применяют методику ОПП, которая не в состоянии обеспечить ритмичность и непрерывность производственного процесса ввиду отсутствия механизма своевременного материально-технического обеспечения работ необходимыми запасными частями и материалами и отсутствия механизма мониторинга технического состояния образцов ВВТ в воинских частях Российской Федерации. Таким образом, возникает необходимость в совершенствовании методики ОПП, в создании принципиально нового алгоритма, позволяющего решать перечисленные проблемы [2].

Цель работы — показать приемы построения архитектуры модели новой методики ОПП с использованием инструментов модельно-ориентированного системного инжиниринга (MBSE).

Модель иерархической таксономии рассматриваемой искусственной системы

Методология MBSE позволяет описывать искусственные системы различной природы (технические, социально-экономические и т. д.) при помощи модельно-ориентированного подхода. Ключевыми понятиями для наук об искусственных системах являются понятия системы, системы систем и внешней среды. Система — это представление объекта как целостной совокупности взаимодействующих между собой его компонент. Система систем — это обладающая целостностью система, которая включает в себя

другие системы. Условия для существования системы систем и каждой системы внутри неё задаёт внешняя среда, содержащая значимые для рассмотрения сущности вне системы.

Система 2.0 — это искусственная система, состоящая из целого ряда подсистем, метасистема, охватывающая процессы разработки и применения обобщенных продуктов и системы деятельности обобщенных предприятий (бизнес-модели, организация и управление деятельностью предприятий и т. д.) [3].

В рассматриваемом случае продуктом исследования является новая методика ОПП производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях. Любой обобщенный продукт как искусственный рукотворный объект должен обладать ценностью. Ценность методики ОПП заключается в сокращении затрат на проведение работ по сервисному обслуживанию, вытекающем из улучшения показателей качества производственного процесса.

Построим архитектурную модель системы с использованием модельно-ориентированного подхода. Первоначально для описания системы задается взаимосвязанное представление терминов и понятий предметной области, т. е. проводится онтологический инжиниринг. Далее строится модель иерархической декомпозиции (таксономии) System Breackdown Structure (SBS) системы посредством декомпозиции её на подсистемы низших уровней [3]. Так как оперативно-производственное планирование относится к инструментам управления организацией, выберем в качестве системы 2.0 производственную систему управления промышленным предприятием. Проанализировав схему производственного процесса СО ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях, представим графическую схему производственной системы с учётом влияния факторов внешней среды (рис. 2).

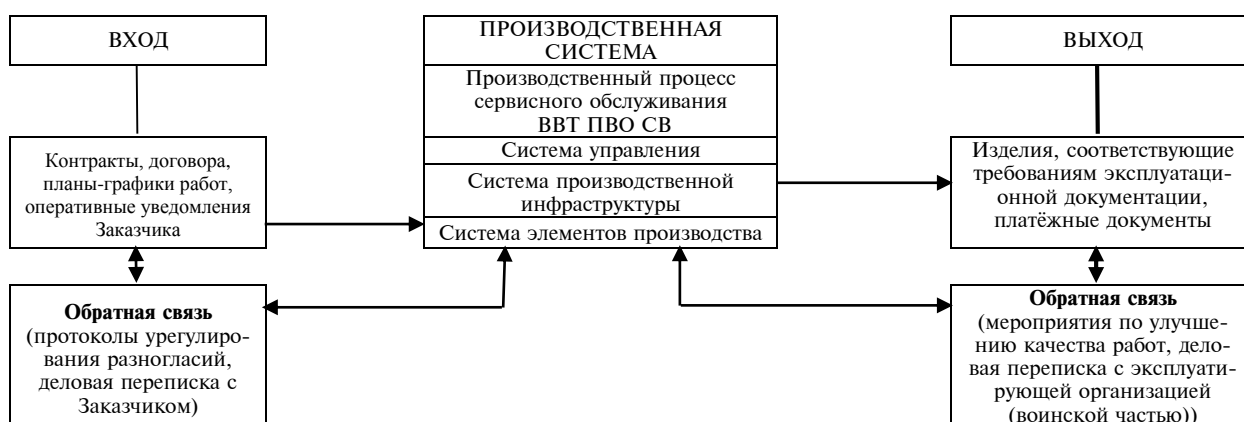


Рис. 2. Производственная система сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях

Производственная система (ПС) — открытая система, постоянно взаимодействующая с внешней средой. На вход ПС из внешней среды поступают материалы, сырьё, информация и другие ресурсы, которые в результате прохождения стадий производственного процесса преобразуются в конечную продукцию на выходе [4]. Таким образом, существует множество факторов внешней среды, влияющих на стабильность производственной системы, и при своевременных управляющих воздействиях (обратные связи системы с её входом и выходом) появляется возможность вносить корректировки в производственный процесс. Проведя онтологический инжиниринг, можно перейти к построению модели иерархической таксономии системы (рис. 3).

В результате декомпозиции производственной системы на подсистемы более низких уровней определяем систему ОПП, в рамках которой бу-

дет строиться архитектура модели продукта исследования.

Модель иерархической таксономии жизненного цикла продукта исследования

Жизненный цикл продукта (ЖЦП) — совокупность взаимосвязанных процессов последовательного изменения состояния продукции от обоснования её разработки до окончания эксплуатации и последующей ликвидации [5].

ЖЦП представляется в виде фаз, количество и наименование которых различно в разных стандартах и отраслевых представлениях. Для простоты и унификации используют укрупнённое представление ЖЦП из четырёх фаз: разработка; создание; применение; завершение цикла (модернизация или утилизация) [3].

Построим модель фаз и составляющих их процессов ЖЦП исследования с использованием метода декомпозиции (рис. 4).



Рис. 3. Модель иерархической таксономии SBS производственной системы

1-й уровень иерархии

L1. Исследование объектной и пред- метной области	L2. Разработка новой методики ОПП	L3. Проектирование новой методики ОПП	L4. Создание автоматизирован- ной информационной системы (АИС ОПП)	L5. Внедрение АИС ОПП на пред- приятии отрасли	L6. Модернизация или утилизация продукта
---	---	---	--	--	--

2-й уровень иерархии

L1.1. Анализ производственного процесса сервисного об- служивания ВВТ ПВО СВ	L1.2. Анализ методики ОПП, применяемой на предприятиях	L2.1. Разработка системы требований к новой методике ОПП	L2.2. Разработка алгоритма но- вой методики	L3.1. Создание математи- ческой модели ме- тодики ОПП	L3.2. Проектирование структуры АИС ОПП
L4.1. Выбор необходи- мых программно- аппаратных средств	L4.2. Создание АИС ОПП на базе выбранного ПО	L5.1. Разработка процес- са внедрения	L5.2. Введение в действие каждой стадии процесса внедрения	L6.1. Анализ новых требова- ний к функционирова- нию производственно- го процесса	L6.2. Принятие реше- ния о модерниза- ции методики или её утилизации

Рис. 4. Модель фаз и составляющих их процессов ЖЦП

На основании полученной модели иерархической таксономии ЖЦП, исследования и дальнейшей декомпозиции фаз и процессов ЖЦП можно описать весь цикл работ по созданию новой методики ОПП производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях (рис. 5).

Построение моделей иерархических таксономий характеристик системы и их взаимосвязей

Авторами выделена система систем 2.0 и проведено её укрупнённое моделирование с учётом

внешней среды. Затем методом декомпозиции выбрана подсистема, в которой функционирует продукт исследования. Для дальнейшего построения архитектуры модели методики ОПП необходимо описать такие характеристики продукта, как требования R , функции F и компоненты K .

Основными требованиями к новой методике ОПП являются повышение ритмичности производственного процесса и уменьшение затрат на проведение работ по сервисному обслуживанию ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях. Путём декомпозиции исходного требования получаем систему требований к продукту исследования, показанную на рис. 6.



Рис. 5. Цикл работ по созданию продукта исследования



Рис. 6. Модель иерархической таксономии требований к продукту исследования

Рассмотрим и представим в виде модели иерархической таксономии систему функций, выполняемых разрабатываемой методикой ОПП. Стартовой и наиболее обобщенной функцией, которую выполняет данный продукт, является оперативно-производственное планирование производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ. Применяя инструмент декомпозиции, получаем модель иерархической таксономии функций продукта исследования (рис. 7).

Последней характеристикой продукта являются его компоненты. В рассматриваемом случае, применяя процессный подход, можно представить все компоненты методики в виде процессов, каждый из которых имеет свой вход и выход. Далее каждая стадия каждого процесса может быть также представлена в виде процесса. Модель иерархической таксономии компонент продукта приведена на рис. 8.

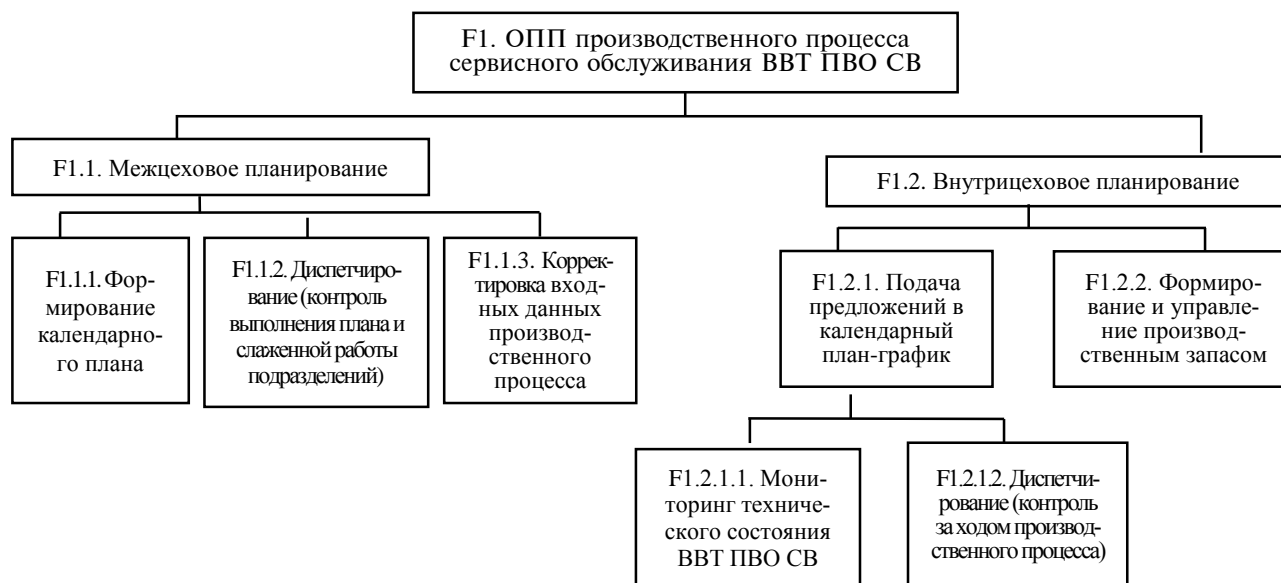


Рис. 7. Модель иерархической таксономии функций продукта исследования



Рис. 8. Модель иерархической таксономии компонент продукта исследования

Таким образом, получены модели иерархических таксономий основных характеристик разрабатываемой методики ОПП. На следующем этапе моделирования создаются модели связанностей компонент сущностей Design Structure Models (DSM), которые представляют собой таблицы (табл. 1–3) отношений требования—функции DSM (RBS, FBS), функции—компоненты DSM (FBS, PBS), компоненты—компоненты DSM (PBS, PBS) и т. д. На пересече-

чении строк i и столбцов j располагаются элементы, характеризующие заданный вид отношений компонент i и j , такие, как обеспечение V , следование F , предшествование P , участие TP и отсутствие связи X [2]. На основании проведенного онтологического инжиниринга и построенных моделей иерархических таксономий можно построить модели DSM (FBS, RBS), DSM (FBS, PBS) и DSM (KBS, KBS), которые дополняют архитектурную модель продукта.

Таблица 1

Модель связанности компонент сущностей DSM (RBS, FBS)

Функции (F) Требования (R)		F1.1.1. Формирование календарного плана	F1.1.2. Диспетчирование (контроль выполнения плана и слаженной работы подразделений)	F1.1.3. Корректировка входных данных производственного процесса	F1.2.1.1. Мониторинг технического состояния ВВТ ПВО СВ	F1.2.1.2. Диспетчирование (контроль за ходом производственного процесса)	F1.2.2. Формирование и управление производственным запасом
R1.1.1.	Наличие базы данных технического состояния ВВТ по стране	V	X	P	F	X	X
R1.1.2.	Мониторинг технического состояния ВВТ по стране	V	X	P	X	X	X
R2.2.1.	Наличие базы данных наиболее часто выходящих из строя запасных частей	X	X	X	X	TP	V
R2.2.2.	Наличие алгоритма пополнения и расходования производственного запаса	X	X	X	X	TP	V
R2.3.1.	Наличие алгоритма межцехового планирования	V	P	TP	X	X	X
R2.3.2.	Наличие алгоритма внутрицехового планирования	P	X	V	F	P	TP
R2.4.	Реализация методики в виде АИС ОПП	V	V	V	V	V	V

Таблица 2

Модель связанности компонент сущностей DSM (FBS, PBS)

Функции (F) Компоненты (K)		F1.1.1. Формирование календарного плана	F1.1.2. Диспетчирование (контроль выполнения плана и слаженной работы подразделений)	F1.1.3. Корректировка входных данных производственного процесса	F1.2.1.1. Мониторинг технического состояния ВВТ ПВО СВ	F1.2.1.2. Диспетчирование (контроль за ходом производственного процесса)	F1.2.2. Формирование и управление производственным запасом
K1.1.1.	Формирование календарного плана	V	P	F	F	P	X
K1.1.2.	Корректировка входных данных производственного процесса	P	X	V	F	X	X
K1.1.3.	Диспетчирование (контроль выполнения плана)	F	V	X	X	F	TP

<div> <div>Компоненты (К)</div> <div>Функции (F)</div> </div>		F1.1.1.	F1.1.2.	F1.1.3.	F1.2.1.1.	F1.2.1.2.	F1.2.2.
		Формирование календарного плана	Диспетчирование (контроль выполнения плана и слаженной работы подразделений)	Корректировка входных данных производственного процесса	Мониторинг технического состояния ВВТ ПВО СВ	Диспетчирование (контроль за ходом производственного процесса)	Формирование и управление производственным запасом
K1.2.1.1.	Мониторинг технического состояния ВВТ ПВО СВ и заполнения базы данных	P	X	V	V	X	X
K1.2.1.2.	Диспетчирование (контроль и регулирование хода производственного процесса)	F	P	X	X	V	TP
K1.2.2.1.	Заполнение базы данных наиболее востребованных запасных частей и материалов	TP	X	X	X	X	V
K1.2.2.2.	Организация закупки запасных частей и материалов	TP	TP	X	TP	TP	V

Таблица 3

Модель связанности компонент сущностей DSM (PBS, PBS)

<div> <div>Компоненты (К)</div> <div>Компоненты (К)</div> </div>		K1.1.1.	K1.1.2.	K1.1.3.	K1.2.1.1.	K1.2.1.2.	K1.2.2.1.	K1.2.2.2.
		Формирование календарного плана	Корректировка входных данных производственного процесса	Диспетчирование (контроль выполнения плана)	Мониторинг технического состояния ВВТ ПВО СВ и заполнение базы данных	Диспетчирование (контроль и регулирование хода производственного процесса)	Заполнение базы данных наиболее востребованных запасных частей и материалов	Организация закупки запасных частей и материалов
K1.1.1.	Формирование календарного плана	V	F	P	F	P	X	X
K1.1.2.	Корректировка входных данных производственного процесса	P	V	X	F	X	X	X
K1.1.3.	Диспетчирование (контроль выполнения плана)	F	X	V	X	F	TP	TP
K1.2.1.1.	Мониторинг технического состояния ВВТ ПВО СВ и заполнение базы данных	P	V	X	V	X	X	X
K1.2.1.2.	Диспетчирование (контроль и регулирование хода производственного процесса)	F	X	P	X	V	TP	TP
K1.2.2.1.	Заполнение базы данных наиболее востребованных запасных частей и материалов	TP	X	X	X	TP	V	P
K1.2.2.2.	Организация закупки запасных частей и материалов	X	X	TP	TP	F	F	V

Заключение

Человек формирует описание объектов при помощи моделей. При этом представление объекта в виде текста или рисунка также является моделью. В данной работе рассмотрены приёмы архитектурного моделирования, заключающиеся в формировании и сборке унифицированных архитектурных моделей, включающих термины, сущности, иерархические декомпозиции сущ-

ностей и связанности [2]. Методология MBSE позволяет детально описать искусственный объект в состояниях "как было" и "как есть", показать влияние каких-либо усовершенствований на продукт. На основе архитектурных моделей строится дальнейшее проектирование систем, создаются математические модели. Таким образом, системный инжиниринг является мощным средством в сфере разработки и применения рукотворных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 18322-2016 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2017.
2. Дьячков М. Е., Кобелев П. А., Шевченко Р. В. Оперативно-производственное планирование производственного процесса сервисного обслуживания вооружения и военной техники ПВО // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2020. Вып. 2. С. 46—50.
3. Кондратьев В. В. Модельно-ориентированный системный инжиниринг: курс лекций. — М., 2020.
4. Дьячков М. Е., Кобелев П. А., Шевченко Р. В. Сервисное обслуживание вооружения и военной техники как производственная система в сфере услуг: "Технические науки: проблемы и решения": сб. ст. по мат. XXI Междунар. науч.-практ. конф. № 3(19). — М., Интернаука, 2019. С. 53—59.
5. ГОСТ Р 15.000-2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 2019.

THE CREATION OF DESIGN MODEL OF SCHEDULING TECHNIQUE IN THE SPHERE OF ARMY AIR DEFENSE WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT MAINTENANCE PRODUCTION PROCESS USING THE MBSE METHODOLOGY

M. E. Dyachkov, P. A. Kobelev

Independent Non-profit Organization of Further Vocational Education "Science and Education Center of Aerospace Defense "ALMAZ-ANTEY", Moscow, Russia

R. V. Shevchenko

Joint-stock Company "Ryazan Production and Technological Enterprise "Granit", Ryazan, Russia

This work deals with the methodology of model-based system engineering (MBSE) and its application in the creation of artificial objects models. As an example the creation of design model of scheduling technique in the sphere of army air defense weapons and military equipment maintenance production process using the MBSE tools is described in this article.

Keywords: scheduling, maintenance, weapons and military equipment, Army air defense, production process, system 2.0, product life cycle, model of hierarchical taxonomy.

Bibliography — 5 references.

Received January 17, 2021

УДК 51-7:519.174: 519.245:658.512.1

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_26

МОДИФИЦИРОВАННАЯ РАСКРАШЕННАЯ СЕТЬ ПЕТРИ: МЕТОД И СРЕДСТВО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

¹Ю. Г. Коган, канд. техн. наук; ²К. В. Пителинский, канд. техн. наук; ¹А. А. Щербина

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

Представлено описание метода имитационного моделирования "модифицированная раскрашенная сеть Петри" как одного из инструментов решения задачи анализа и оптимизации бизнес-процессов на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях управления предприятием. Данная модификация раскрашенной сети Петри предназначена для описания и имитационного моделирования дискретных бизнес-процессов вплоть до отслеживания единичных экземпляров любого используемого в процессе ресурса. Для этого вводят возможность придания каждому маркеру в сети Петри уникальной раскраски, возможность задания допустимых для позиции или перехода раскрасок маркеров, правила порождения новых раскрашенных маркеров при срабатывании переходов, специальные маркеры для моделирования принятия решений в ходе выполнения моделируемого процесса.

Ключевые слова: управление предприятием, имитационное моделирование, раскрашенные сети Петри, бизнес-аналитика, принятие решений, фрактальное моделирование, BCMS, MCPN.

Субъект управления (лицо, принимающее решения, ЛПР) посредством математического моделирования может изучать динамику и улучшать процессы функционирования управляемой системы, формируя ряд альтернативных вариантов моделей системы с последующим выбором из них наиболее соответствующего начальным условиям. При этом основная часть социально-экономических систем существует в условиях неопределённости, отчего их нельзя описать детерминированными моделями.

Для минимизации расхождения параметров управления сложными системами авторам видится полезным применение методов теории автоматического управления. Определение усреднённых, уровневых и иных организационных метрик — нетривиальный процесс, предпола-

гающий использование вычислительных средств и инструментальных сред численного моделирования. Постановка и решение этой проблемы аналитически затруднены стохастическими флуктуациями её параметров. Тогда и применяют методы и средства не математического, а имитационного моделирования (ИМ).

ИМ — изучение посредством имитации вычислительными средствами функционирования системы (или её элементов). Оно заключается в реализации алгоритмов, имитирующих динамику изучаемой системы, её свойств и показателей во всеобъемлющих (по суждению системного аналитика) для исследования составе, объёме и на области значимого изменения её параметров. ИМ обычно проще по проведению серии экспериментов с реальными объектами, однако на многих из них такие эксперименты часто не могут быть выполнены [1, 2].

Для исследования сложных систем в ИМ реализующий модель алгоритм описывает функционирование системы во времени, причём имитируются составляющие процесс явления при сохранении последовательности их протекания во времени и логической структуры, что позволяет ЛПР по начальным условиям найти параметры состояния процесса в требуемые моменты времени [1, 3] или в нужные состояния. При использовании ИМ на практике требуется алгоритмическая реализация заложенных в них псевдослучайных функций.

Коган Юрий Григорьевич, доцент кафедры "Информационные технологии и вычислительные системы".

E-mail: yugr.kogan@gmail.com

Пителинский Кирилл Владимирович, доцент кафедры "Информационная безопасность".

E-mail: yekadath@gmail.com

Щербина Антон Анатольевич, аспирант кафедры "Информационные технологии и вычислительные системы".

E-mail: antonsh930@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17 ноября 2020 г.

© Коган Ю. Г., Пителинский К. В., Щербина А. А., 2021

Также ИМ учитывает присутствие дискретных и непрерывных элементов системы, нелинейности, случайные флуктуации и иные осложняющие ведение системного анализа факторы. По мнению авторов, ИМ — весьма эффективный метод исследования слабо структурированных или больших систем. Иногда это единственно возможный метод выявления системной динамики (особенно при управлении проектами).

Опишем алгоритм определения количественных характеристик иерархической (древовидной) организационной структуры (рис. 1), оказывающей значительное влияние на реализуемые предприятием (организацией) бизнес-процессы. На практике требуется определить соответствие (или рассогласование) фактических и желаемых метрик для конкретной организационной структуры. Подобными метриками выступают показатели, соответствующие потребностям организации [4]. При оптимизации структуры и динамики ее функционирования необходимо решить оптимизационную задачу вида

$$e = |r_k - p_k| \rightarrow \min,$$

где r_k, p_k — фактическая измеренная и проектная метрики на k -м уровне;
 k — рассматриваемый иерархический уровень системы.

ГОСТ Р ИСО 22301—2014 [4] определяет состав требований к эффективной системе менеджмента непрерывности бизнеса (Business Continuity Management System, BCMS) для защиты от инцидентов, снижения вероятности их реализации, подготовки ответных действий и восстановления после инцидентов. Деятельность предприятия может быть описана взаимодействием динамических контурных потоков (информационных, финансовых, материальных, энергетических и кадровых). Все элементы этих потоков имеют уникальное время жизненного цикла и утилизации. Если эти потоки не будут преобразованы, т. е. приносить пользу предприятию (организации), то содержащая их система деградирует. Этот постулат был сформулирован в тектологии А. А. Богданова.

Для оптимизации и снижения риска возникновения инцидентов имеет смысл использовать методологию ИМ и гармонизирующий инвариант (так называемое золотое сечение). Надёжной основой формирования BCMS предприятия (организации) могут служить инвариантные принципы — закономерности, обусловленные применением метода рядов чисел Фибоначчи [1, 2], частным случаем которых является золотое сечение. Принцип гармонического инварианта обеспечивает повышение эффективности систем управления и требует, чтобы основные показатели (ресурсы) любой сложной системы делились

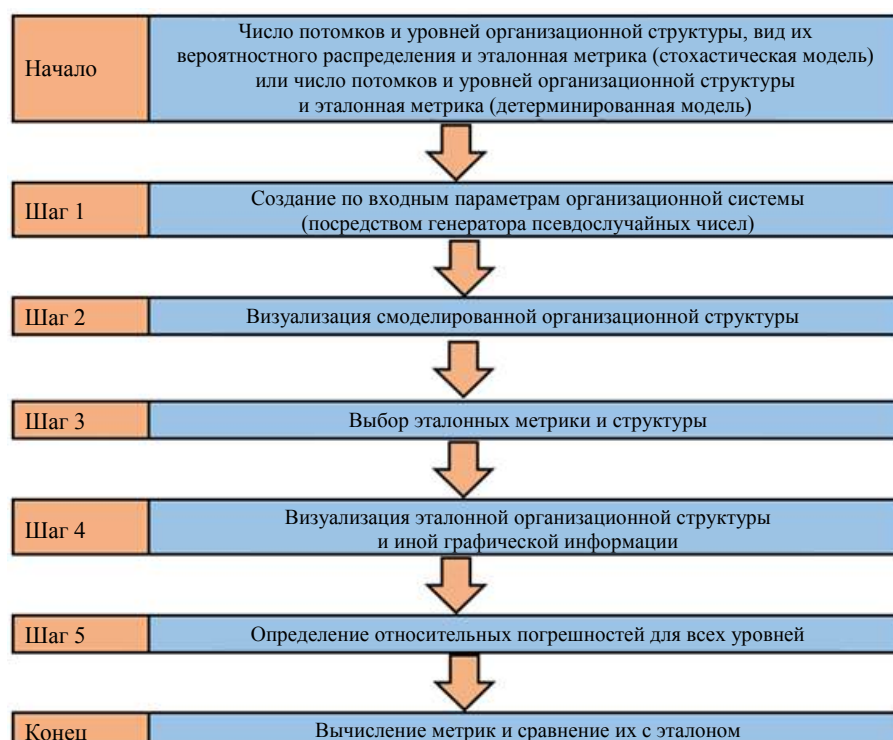


Рис. 1. Укрупнённый алгоритм ИМ характеристик организационной структуры предприятия [2]

между её конкурирующими иерархическими уровнями (подсистемами) по правилам ряда Фибоначчи (в частности, по золотому сечению). Если таких конкурентов два, то ресурс системы делится на две части (гармонических инварианта):

$$\Phi_1 = \frac{\sqrt{5}-1}{2} \approx 0,618...; \quad \Phi_2 = (\Phi_1)^2 = (1-\Phi_1) \approx 0,382....$$

В основе эффективной ВСМС должно лежать гармоничное сочетание этих частей между разными уровнями иерархии (и на каждом из них). Метод рядов Фибоначчи при конфигурировании сложной системы обеспечивает ей максимальные устойчивость, гармоничность, результативность и эффективность.

При применении гармонических инвариантов как фрактальных объектов:

- повышается устойчивость организационной структуры к неблагоприятным воздействиям (политического, экономического, техногенного и иного характера);
- понижается вероятность развития инцидентов из факторов внутренней среды предприятия (организации);
- сокращаются затраты на устранение инцидентов и на восстановление штатного режима функционирования предприятия (организации);
- улучшаются бионические свойства предприятия (организации), например, адаптивность и скорость реагирования на нарушения от возникших инцидентов.

Известны и другие перспективные методологии повышения качества управления сложными многоуровневыми системами (в частности, хорошо зарекомендовавшие себя на практике методы рефлексивного управления, когнитивного анализа и управления, мягкого резонансного управления и т. д.). Любой из этих методов обладает мощным потенциалом применения для создания или оптимизации эффективных ВСМС.

Моделирующие возможности сетей Петри и их эффективность при практической реализации методологии ИМ объясняются прежде всего тем, что сеть Петри — это интеграция графа и дискретной динамической системы [5]. Применение сетей Петри не ограничивается моделированием процессов и динамических систем. Они с успехом используются в теоретическом программировании, при решении задач функциональной спецификации и верификации программного обеспечения, организации вычислительных процессов, управления и т. д. Они могут служить как статической, так и динамической моделью представляемого с их помощью объекта. Особую роль сети Петри выполняют при моделировании

параллельных процессов. Это едва ли не самый удобный и многообещающий инструмент исследований. Важное значение имеет и известное преимущество этих сетей над другими графовыми моделями — удобство их алгоритмической реализации на ЭВМ.

Существенно выделить четыре задачи исследования объектов с помощью сетей Петри [5, с. 103]:

- интерпретация, связанная с адекватным представлением моделируемого объекта соответствующей сетью Петри;
- программирование модели в конкретной операционной среде;
- исследование модели;
- кросс-трансляция с языка сетей Петри на языки программирования.

В бизнесе возможны следующие ситуации: документ (ресурс) либо идёт дальше после перехода, либо не идёт (т. е. документ простаивает). Если возникнет задача, когда одни маркеры должны проходить, а другие не должны, то классическая сеть Петри с такой ситуацией не справится. Раскрашенная сеть Петри справится с данной задачей при условии, что будут заданы правила формирования раскраски, чтобы разрешённые к проходу экземпляры всегда отличались по раскраске от запрещённых.

Классическая раскрашенная сеть Петри применительно к анализу бизнес-процессов недостаточно эффективна, т. к. максимум, что можно отследить с помощью данных сетей Петри, это использование ресурсов при благоприятных условиях [6]. Если же раскрашенная сеть Петри будет модифицирована (рис. 2), то результат будет более нагляден при сохранении возможностей математического аппарата [7, 8]. Такая сеть позволит с учётом предусловий и постусловий эффективно моделировать использование ресурсов в ходе процесса со всеми задержками и ограничениями.

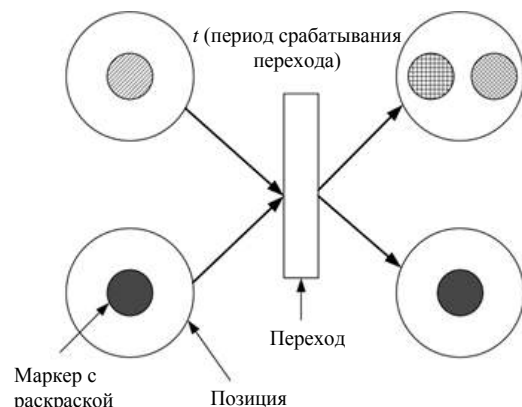


Рис. 2. Модифицированная раскрашенная сеть Петри

При моделировании бизнес-процессов под каждым маркером подразумевается единица некоторого ресурса, используемого в ходе процесса, или результата процесса (типа маркера): заготовка, изделие, исполнитель, документ, управленческое решение и т. д.

Сеть Петри формируется посредством запусков переходов. Переход запускают удалением маркеров из его входных позиций и образованием новых маркеров, помещаемых в его выходные позиции. Переход запускается, если он разрешён. Маркеры либо моделируют единицы (в отдельных случаях партии) некоторых ресурсов, либо управленческие решения или имеют технический характер. На каждую стрелку и переход накладываются свои ограничения, в результате которых после совершенного перехода в позиции образуются новые маркеры.

Переход называется разрешённым, если каждая из его входных позиций имеет все маркеры, которые содержатся в ограничении на стрелку и переход. Ограничения на переход могут показывать, какой маркер может превратиться в другой, а какой не может. Также возможна ситуация, когда ограничениями на стрелку может заблокироваться сам переход, так как если маркер существует, но не может пройти по стрелке, данный переход не сработает.

После серии срабатываний переходов может возникнуть маркировка, при которой некоторые переходы (в том числе и ранее сработавшие) никогда больше не будут возбуждены ни при каких движениях маркеров. Подобные ситуации относятся к тупиковым.

При проведении эксперимента все текущие свойства маркеров в позициях должны запоминаться для дальнейшего анализа.

Модифицированная раскрашенная сеть Петри (MCPN) определяется следующим образом [7, 8]:

$$\text{MCPN} = (P, T, A, C, S, R, M_0(p), S(p), F(t), S(a)),$$

- где P — конечное множество позиций сети;
 T — конечное множество переходов сети;
 A — конечное множество дуг сети;
 C — конечное множество допустимых в сети цветов;
 S — конечное множество допустимых в сети цветов маркеров;
 R — конечное множество допустимых в сети продукционных правил срабатывания перехода;

$$P \wedge T = P \wedge A = T \wedge A = \emptyset;$$

$S(p)$: каждой позиции $p \in P$ ставится в соответствие множество $S(p) \in C$ допустимых в данной позиции цветов маркеров;

$F(t)$ — мультипродукционная функция запуска перехода;

$S(a)$: каждой дуге $a \in A$ ставится в соответствие множество пропускаемых данной дугой раскрасок маркеров $S(a) \in C$ (возможно, пустое);

$M_0(p)$ — конечное мультимножество над множеством $S(p)$ — начальная маркировка позиции, чья совокупность которых задаёт начальную маркировку сети.

Формирование раскраски MCPN показано на рис. 3.



Рис. 3. Формирование раскраски модифицированной раскрашенной сети Петри

Данная сеть Петри формируется по следующим правилам:

- Раскраска формируется как определённый набор свойств со своими значениями (см. рис. 2).
- Цвет можно присвоить маркеру, когда под каждым маркером подразумевается единица некоторого ресурса, используемого в ходе процесса, или результата процесса (типа маркера): заготовка, изделие, исполнитель, документ, управленческое решение и т. д.
- Типы значений цвета в раскраске могут быть следующими: число, символический атом (строка символов, не содержащая разделителей), массив элементов двух предыдущих типов.
- Вводятся понятия входной и выходной маркировок перехода. Входная маркировка $M^+(t)$ перехода t формируется из текущих маркировок входных позиций следующим образом: маркеры с раскраской $s \in S(p)$ могут уйти из позиции p по дуге a в переход t только в том случае, когда $s \in S(a)$. Выходная маркировка $M^-(t)$ перехода t формируется в результате применения функции $F(t)$ к маркировке $M^+(t)$ (срабатывание перехода).
- Вводится понятие текущей маркировки позиции. Текущая маркировка $M(p)$ позиции p есть конечное множество $S(p)$. Она формируется из выходных маркировок входных переходов позиции p следующим образом: маркеры с раскраской $s \in S(p)$ могут уйти в позицию p по дуге a из перехода t только в случае, когда $s \in S(a)$.

Совокупность текущих маркировок позиций образует текущую маркировку сети M .

• Для каждого перехода t функция $F(t)$ задаётся в общем случае конечным множеством $R(t)$ продукционных правил, в результате последовательного выполнения которых (всех) маркировка $M^+(t)$ превращается в маркировку $M^-(t)$.

В связи с этим вводится понятие промежуточной маркировки перехода $M_k(t)$, получаемой из маркировки $M^+(t)$ в результате выполнения k правил из множества $R(t)$. Таким образом, входная маркировка перехода $M^+(t)$ является также и нулевой промежуточной маркировкой $M_0(t)$. В общем случае правило $r_k(t)$ изменяет в маркировке $M_{k-1}(t)$ только подмаркировку $\Delta M_k(t) = M_k(t) - M_{k-1}(t)$.

Модифицированная раскрашенная сеть Петри позволяет моделировать прохождение бизнес-процессов выполнения производственного заказа промышленного предприятия (например того, куда информация должна пройти, или, наоборот, откуда не должна уйти и т. д.). При этом можно выявлять проблемы в организации процессов, контролировать степень заполнения документов, т. к. раскраска должна показывать, сколько и какие из полей заполнены, а какие ещё нет. По текущей раскраске документа можно судить о его готовности.

Наличие у каждого маркера уникального цвета даёт возможность ставить в процессе имитационного моделирования эксперименты, связанные с заданием различных вариантов допустимых или недопустимых наборов маркеров на входах и выходах позиций и переходов сети Петри (рис. 4). Возникает вопрос, исходя из ка-

ких соображений формировать перечни допустимых и недопустимых маркеров для конкретных позиций и переходов в сети.

Следует обратить внимание на наличие в рассматриваемой раскрашенной сети Петри дополнительных управляющих позиций, задача которых — служить местом размещения специальных маркеров, показывающих факт принятия определённого управленческого решения из нескольких альтернативных вариантов.

Кроме того, с помощью ограничителей можно искусственно моделировать ситуации, когда документ лежит и его дальше не пускают на выполнение.

Если говорить о программировании сети MCPN, то основные типы данных в MCPN можно разбить на int, real, string, bool:

- int используется для представления целых чисел;
- real представляет собой вещественное число;
- string используется для представления строк;
- bool (Boolean) имеет два значения: true или false.

Рассмотрим пример бизнес-процесса, представленный в MCPN (рис. 5). Сам бизнес-процесс представляет собой процесс управления инцидентами (заявками), выполняемый машиностроительным предприятием, который осуществляется в результате нахождения проблемы в работе станка. Назначение заявок техническим специалистом 1-го и 2-го уровня автоматизировано системой заявок на неисправности и смоделировано в процессе системы заявок на неисправности.

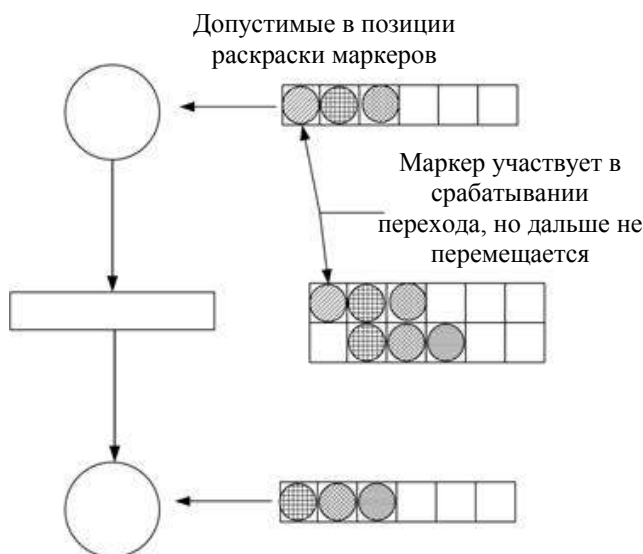


Рис. 4. Правило срабатывания перехода

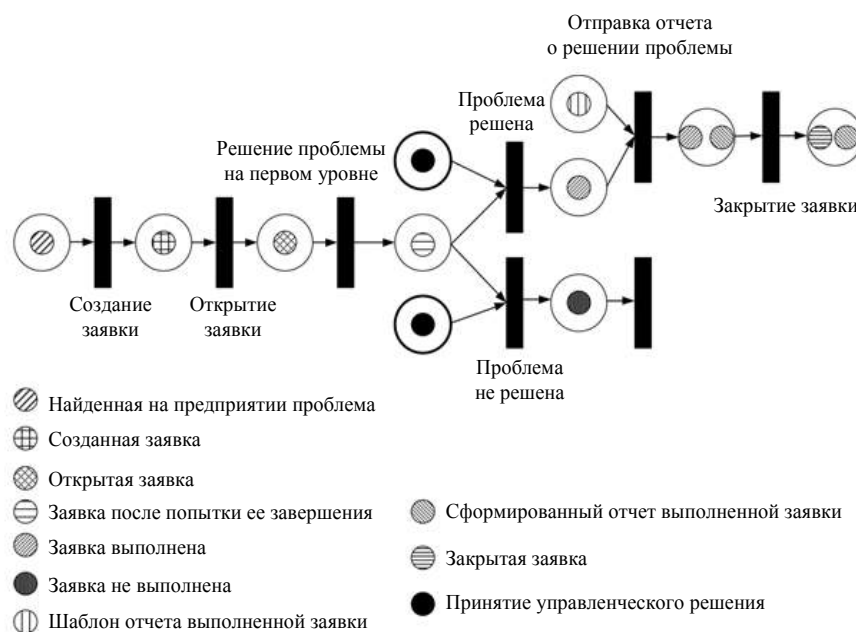


Рис. 5. Пример бизнес-процесса управления заявками, выполненный в MCPN

Согласно рис. 5 преимуществом модифицированной раскрашенной сети Петри является не только её математическая составляющая часть, но и её наглядность. Термин "раскрашенная" указывает на то, что маркерам необходимо сопоставлять набор параметров, формирующих "цвет", а позициям и переходам можно задавать на входе и выходе допустимые раскраски. Кроме того, переходам в сети в качестве параметра можно задавать время и/или период срабатывания.

Поскольку для каждой позиции и каждого перехода в рассматриваемой сети Петри можно задавать допустимые или недопустимые раскраски маркеров, находящихся в позиции или поступающих в переход, появляется возможность моделировать выполнение бизнес-процесса с учётом ограничений на попадание определённых маркеров в определённые позиции и переходы [9].

Модифицированная рассмотренным образом раскрашенная сеть Петри позволяет отслеживать в ходе имитационных экспериментов судьбу даже каждой отдельной единицы любого ресурса, задействованного в ходе выполнения конкретного экземпляра процесса, поскольку каждая единица ресурса одного и того же вида может получить не только видовую, но и индивидуальную раскраску — уникальный код раскраски.

Таким образом, применение модифицированных раскрашенных сетей Петри улучшает качество и гибкость анализа объектов исследования, что позволяет рассматривать их как перспективный инструмент имитационного моделирования сложных производственных систем, особенно при использовании специализированных программных продуктов. Вместе с тем необходимо отметить возрастающую сложность модели по сравнению с традиционной раскрашенной сетью Петри.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пителинский К. В. Моделирование динамических контурных потоков как метод управления непрерывностью бизнеса // Методы менеджмента качества. 2018. № 11. С. 16—21.
2. Пителинский К. В. Фракталы и организационные структуры: сб. докладов X Открытой научной конф. МГТУ "СТАНКИН" и УНЦ Математического моделирования МГТУ "СТАНКИН" и ИММ РАН. М. 24, 25 апреля 2007 г. — М.: Изд-во МГТУ "СТАНКИН", 2007. С. 139—141.
3. Прангишвили И. В. Системный подход и общесистемные закономерности: Сер. "Системы и проблемы управления". — М.: СИНТЕГ, 2000. — 528 с.
4. ГОСТ Р ИСО 22301—2014 Системы менеджмента непрерывности бизнеса. Общие требования — Business continuity management systems. Requirements: национальный стандарт Российской Федерации.

Утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17.10.2014 № 1351-ст. — М.: Стандартинформ, 2015. — 22 с.

5. **Захаров Н. Г., Рогов В. Н.** Синтез цифровых автоматов: учеб. пособие. — Ульяновск: УлГТУ, 2003. — 135 с.

6. **Jensen K., Kristensen L. M.** Coloured Petri Nets Modelling and Validation of Concurrent Systems. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. — 374 с.

7. **Коган Ю. Г.** Разработка методов и средств повышения эффективности автоматизированного управления производственным заказом в мелкосерийном машиностроительном производстве: дисс... канд. техн. наук. — М.: МГТУ "СТАНКИН", 1998. — 123 с.

8. **Коган Ю. Г., Щербина А. А.** Исследование метода имитационного моделирования процессов с помощью раскрашенной параметрической сети Петри и разработка программного средства для его поддержки: мат. Всеросс. научно-практ. конф. "Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал". — Вологда: ООО "Маркер", 2017. С. 48—51.

9. **Коган Ю. Г., Щербина А. А.** Параметрическая раскрашенная сеть Петри для моделирования бизнес-процессов "цифрового" предприятия: мат. Всеросс. научно-практ. конф. "Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал". — Вологда: ООО "Маркер", 2018. С. 48—51.

MODIFIED COLORED PETRI NET: METHOD AND MEAN OF IMITATION MODELING

¹*Iu. G. Kogan*, ²*K. V. Pitelinskiy*, ¹*A. A. Shcherbina*

¹MSTU "STANKIN", Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

The enterprise requires continuous analysis and optimization of business processes at the strategic, tactical and operational levels of enterprise management for improving business continuity within the BCMS concept. This article describes one of the tools for solving this problem — the imitation modeling method Modified Colored Petri Net. This modification of the Colored Petri Net is the method for describe and simulate discrete business processes up to tracking single instances of any resource used in the process. To do this, introduced: the possibility of giving each marker in the Petri Net a unique coloring; the possibility to specify valid marker colors for a position or transition; the rules for generation of new colored markers when transition is triggered; special markers for modeling decision making during the execution of the simulated process.

Keywords: enterprise management, simulation, Colored Petri Nets, business analytics, decision making, fractal modeling, BCMS, MCPN.

Bibliography — 9 references.

Received November 17, 2020

УДК 004.942

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_33

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В SIMULINK

В. В. Кабаков

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Сформирована схема процесса эксплуатации инженерной системы в условиях аналитического прогнозирования её технического состояния. В целях повышения эффективности исследования изменения диагностических параметров различных устройств во времени в программном пакете Simulink разработана имитационная модель, позволяющая проводить параллельно несколько экспериментов с различными исходными данными. Имитационную модель можно использовать для прогнозирования ресурса различных систем, процесс деградации которых необратим.

Ключевые слова: система, диагностика, диагностический параметр, аналитическое моделирование, имитационное моделирование.

Техническое состояние (ТС) инженерной системы (ИС) можно представить оператором S , который связывает внешние входные $u(t)$ и выходные $\xi(t)$ переменные, с учетом возмущающего фактора $f(t)$, порожденного собственными внутренними и внешними процессами (рис. 1). При эксплуатации ИС переменные $\xi(t)$ используют как диагностические параметры (ДП). Важность контроля ДП заключается в возможности как определять ТС системы на текущий момент времени, так и прогнозировать на перспективу [1].

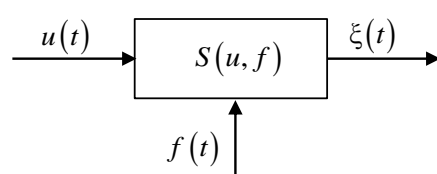


Рис. 1. Обобщенная структурная схема элемента, входящего в состав системы технического диагностирования

Поскольку процесс изменения ДП является случайным, задача описания деградации ресурса ИС сводится к определению времени пересече-

ния случайной функции $\xi(t)$, описывающей изменение параметра, с уровнем допуска на этот параметр $\xi_{\text{доп}}(t)$ (рис. 2). Выход данного параметра за пределы нижнего допуска происходит в момент времени $t_{\text{доп}}$, с наступлением которого диагностируемая система переходит в неработоспособное состояние.

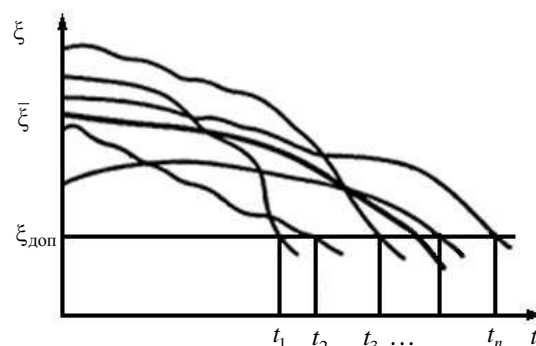


Рис. 2. Изменение случайной функции во времени [2]

При решении данной задачи считают, что $\xi(t)$ в каждый момент времени имеет нормальное распределение, а вероятность того, что диагностируемая система исправна, равна вероятности того, что значение $\xi(t_i)$ в момент времени t_i не превышает уровень допуска.

Подобная постановка задачи имеет смысл при условии, что процесс деградации ДП необратим. С рассмотренной точки зрения исследование динамики ИС может быть реализовано методами аналитического и имитационного моделирования.

Кабаков Виталий Валериевич, старший преподаватель кафедры 104.
E-mail: ser-kvv73@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2020 г.

© Кабаков В. В., 2021

Основы аналитического моделирования ДП

В методах аналитического моделирования используют прежде всего приемы численного анализа рядов и теорию приближенных функций, в которых описание изменения ДП представлено аппроксимирующей функцией (АФ) $F(t)$. Чаще всего функцию $F(t)$ находят в виде алгебраического многочлена, получая при этом на небольших отрезках времени достаточно хорошее при-

ближение. Задача выбора аналитического выражения функции, описывающей ДП, сводится к выбору оптимальной функции из числа конкурирующих при условии минимального значения среднеквадратического отклонения и высокой точности прогноза [3]. В таблице [4] приведен перечень простых функций, наиболее часто используемых в практике аналитического моделирования и прогнозов.

Список аппроксимирующих функций

Название	Уравнение	График
Линейная	$y = a + bt$	
Парабола	$y = a + bt + ct^2$	
Кубическая парабола	$y = a + bt + ct^2 + dt^3$	
Степенная функция	$y = at^b$	
Экспоненциальная функция	$y = ae^{bt}$	
Модифицированная экспонента	$y = k - ae^{bt}$	
Логистическая (S-образная) кривая	$y = k / (1 + be^{-ct})$	
Гиперболическая функция	$y = a + b / (c + t)$	
Функция Гомпертца	$y = ka^{b^t}$	
Колебательная функция	$y = a + bt + \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)$	

На выбор АФ влияет априорная информация о моделируемом явлении, характеризующая его основные свойства. Априорной информацией может быть техническая документация, мнение экспертов, опыт ранней эксплуатации подобных ИС и т. д. Предельным значением $F(t)$, при котором выполняется условие безаварийной эксплуатации ИС, является некоторое допустимое значение $F(t)_{\text{доп}}$ ($t_{\text{доп}}$ — момент времени, до которого прогнозирование имеет смысл). Если на временном интервале $[t_{\text{н}}, \dots, t_{\text{кон}}]$ было зарегистрировано некоторое количество результатов измерений, достаточное для определения $F(t)$ описывающей ДП, то оставшийся временной интервал $[t_{\text{кон}} \dots t_{\text{доп}}]$ является прогнозируемым.

Скорость приближения $F(t)$ к $F(t)_{\text{доп}}$ отражает в тренде b_i . В этом случае важно учитывать, что преимущественно все технические устройства имеют эксплуатационный жизненный период, состоящий из трёх основных этапов: приработки, нормального функционирования и старения [5]. Каждому этапу будет соответствовать индивидуальный тренд.

Кроме того, изначальный тренд аппроксимирующей функции ДП будет зависеть от условий эксплуатации системы, представляющих собой множество рабочих факторов (электрическая нагрузка, температура окружающей среды, вибрации, механические удары, линейные ускорения, влажность, воздействие биологической среды, давление, радиационное облучение и т. д.).

Общую схему процесса эксплуатации ИС в условиях аналитического прогнозирования ТС можно представить в виде направленного во времени графа, изображенного на рис. 3.

Во временных точках t_1, t_2, \dots, t_n выполняется ряд операций с текущей диагностической информацией. Например, в процессе эксплуатации ИС в момент времени t_1 проводят диагностику (определение $\xi(t_i)$), после чего с учетом априорной информации и условий функционирования определяют АФ и тренд. Затем путем экстраполяции формируют дальнейшую стратегию диагностики. В точке t_2 в целях корректировки тренда операции с диагностической информацией повторяют.

Имитационная модель ДП

Кроме аналитического моделирования динамики ИС, также можно использовать имитационное моделирование. Имитационная модель (ИМ) — это преобразование формализованного описания системы в программу-имитатор [6]. Имитационное моделирование является экспериментальной и прикладной методологией, имеющей цель описать поведение систем и построить теории и гипотезы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение, а также использовать эти теории для предсказания дальнейшего поведения системы. Эксперимент с ИМ можно многократно повторять при разных исходных данных или проводить одновременно, но с разными условиями. Имитационное моделирование является практически основным методом получения информации о поведении системы в условиях неопределенности [7–9].

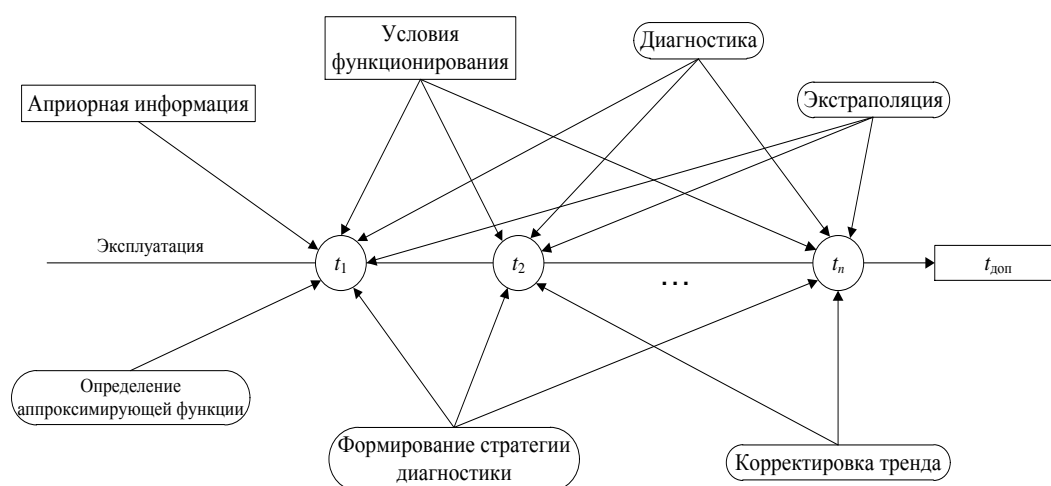


Рис. 3. Схема процесса эксплуатации технического объекта

С учетом особенностей аналитического моделирования и схемы на рис. 3 при помощи программного продукта MathWorks в системе Simulink разработана ИМ технического устройства, ДП (температура) которой описывается линейной функцией (рис. 4).

Начальный уровень ДП исследуемого устройства задавали при помощи стандартного блока источника постоянного сигнала Constant. Начальный и скорректированный тренды задавали при помощи блока источника линейно изменяющегося воздействия Ramp. Флуктуация формировалась блоком "источник случайного сигнала" с нормальным распределением Random Number. Суммированный сигнал формировался в блоке вычисления суммы Sum. Для определе-

ния $t_{доп}$ использовали блок ограничения сигнала Rate Limiter. Визуализация имитации осуществлялась в блоке осциллографа Scope.

Процедура имитации моделирования изменения ДП с течением времени включает следующие операции:

- задание начальных значений ДП;
- задание начального тренда;
- задание $t_{доп}$;
- задание условий процесса деградации ДП;
- задание флуктуации случайной величины;
- настройку модели и расчет;
- анализ результатов.

Пример результатов имитационного моделирования изменения температуры ИС приведен на рис. 5.

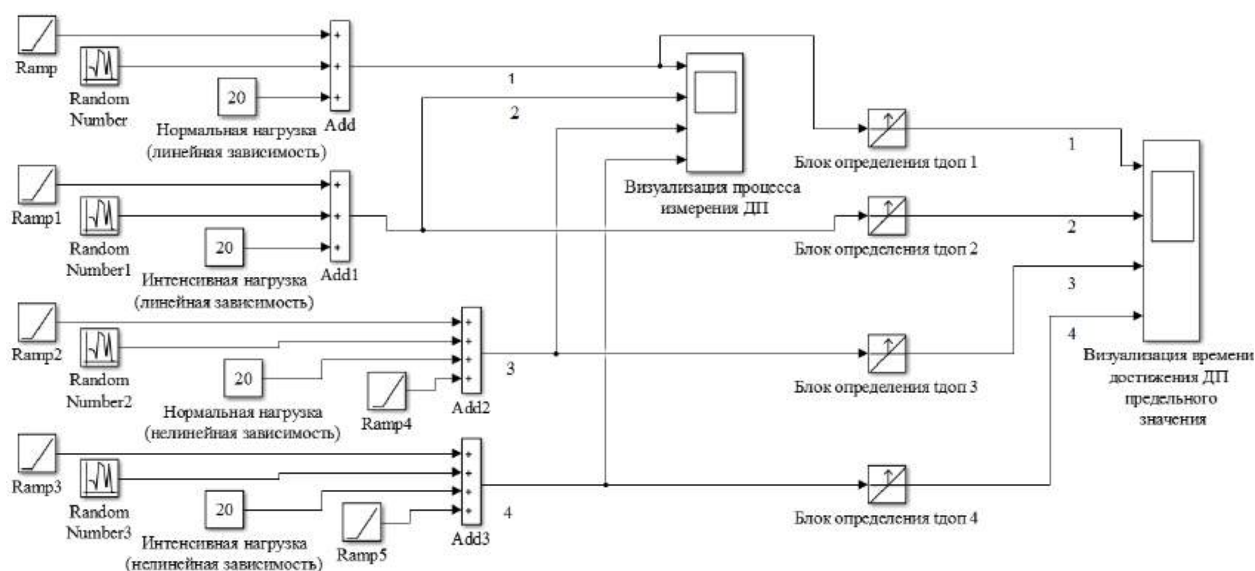


Рис. 4. Имитационная модель

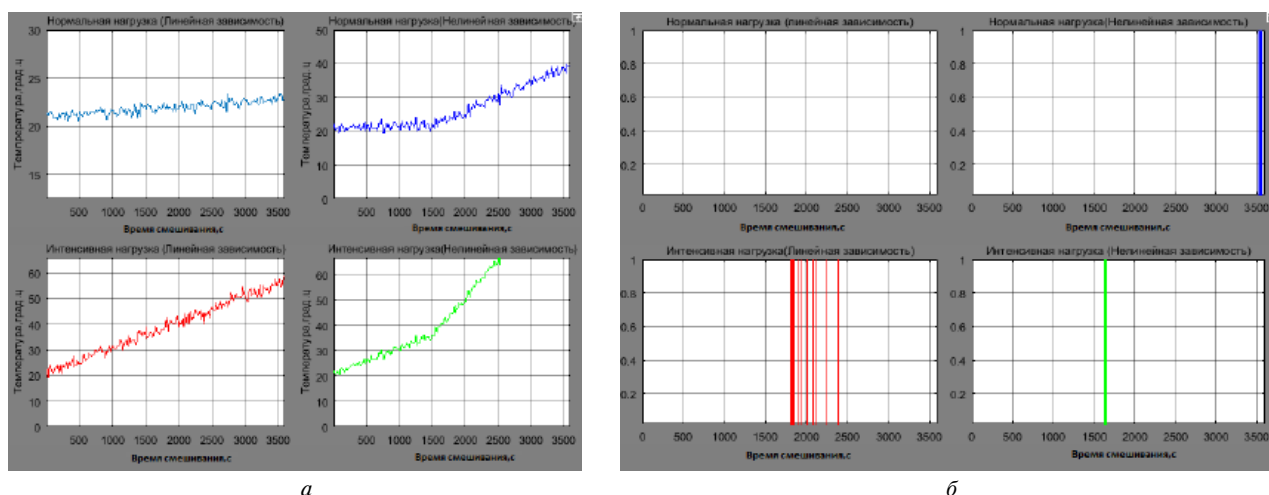


Рис. 5. Результаты имитационного моделирования:

а — имитация роста температуры системы при разных исходных данных; б — сигнал с блока определения $t_{доп}$

Выводы

Разработанная ИМ при помощи программного продукта Simulink позволяет в кратчайшее время проводить параллельно несколько имитационных экспериментов по исследованию случайных процессов динамики ДП. Практическая

значимость разработанной ИМ заключается в возможности прогнозировать момент времени достижения системой предельного состояния, что повысит эффективность методики технического обслуживания и, соответственно, её надёжность. Модель может быть использована в различных областях науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Равин А. А., Хруцкий О. В. Инженерные методы прогнозирования остаточного ресурса оборудования // Вестник АГТУ. Сер. "Морская техника и технология". 2018. № 1. С. 33—47.
2. Новиков В. С. Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования: учебник для вузов. — М.: Транспорт, 1987. — 261 с.
3. Хруцкий О. В. Прогнозирование технического состояния функционально-самостоятельных элементов судовой энергетической установки: дис. канд. техн. наук. — СПб., 1996. — 263 с.
4. Теория прогнозирования и принятия решений: учеб. пособие / Под ред. Саркисяна С. А. — М., Высш. школа, 1977.
5. Ивченко Б. П., Мартыщенко Л. А. Монастырский М. Л. Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем. — М.: ИНФРА-М., 2002. — 511 с.
6. Эльберг М. С., Цыганков Н. С. Имитационное моделирование: учеб. пособие. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. — 128 с.
7. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 418 с.
8. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. Изд. 3-е. — СПб.; Питер: Киев: Издательская группа BHV, 2004. — 847 с.
9. Viswanathan Mathuranathan. Digital Modulations using Matlab: Build Simulation Models from Scratch. — Independently published, 2017. — 184 p.

SIMULATION OF DIAGNOSTIC PARAMETERS IN SIMULINK

V. V. Kabakov

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

In the work, a diagram of the process of operating an engineering system in the conditions of analytical forecasting of its technical state is formed. Taking into account the scheme, in order to increase the efficiency of the study of changes in the diagnostic parameters of various devices over time, a simulation model has been developed in the Simulink software package, which allows several experiments to be carried out in parallel with different initial data. The simulation model can be used to predict the resource of various systems, the degradation process of which is irreversible.

Keywords: system, diagnostics, diagnostic parameter, analytical modeling, simulation.

Bibliography — 9 references.

Received November 11, 2020

УДК 681.7.069.32

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_38

КОМБИНИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА

^{1,2} П. Н. Разживалов, канд. техн. наук; ^{1,2} Д. Д. Кудряшов; ² С. А. Шаталова

¹ Филиал АО «РКЦ «Прогресс» — НПП «ОПТЭКС», г. Зеленоград, Москва, Россия

² Национальный исследовательский университет МИЭТ, г. Зеленоград, Москва, Россия

Проведено исследование блока фотоприемного устройства прибора определения координат звезд (звездного датчика). Целью исследования, помимо определения температуры и ее распределения по основным узлам устройства, являлось решение задачи проведения оценки степени достоверности результатов моделирования при помощи САПР. Выяснено, что для случаев, когда приемлемы результаты с погрешностью до 20–30 %, возможно использование трехмерных моделей с допущениями об "идеальном контакте". Для прочих случаев (погрешность результатов до 10–12 %) необходимо проводить моделирование с обязательным учетом термического сопротивления контакта.

Ключевые слова: звездный датчик, звездный прибор, прибор определения координат звезд, блок фотоприемного устройства, термическое сопротивление контакта, инженерный расчет, САПР.

Практически все инженерные расчеты разрабатываемых изделий выполняют при помощи САПР на основе метода конечных элементов [1, 2]. При этом, как правило, при моделировании и расчете в САПР делают ряд допущений и упрощений трехмерной модели для ускорения последующего расчета. Одним из таких допущений является "идеальный контакт", т. е. в моделях не учитывается термическое сопротивление контакта между деталями [3, 4]. Это может привести к значительному снижению достоверности полученных при помощи САПР результатов. Таким образом, возникает задача о проведении оценки степени достоверности результатов, которые получаются при помощи САПР с учетом и без учета термического сопротивления контакта.

Для решения поставленной задачи проведено исследование типовой конструкции прибора определения координат звезд (ПОКЗ).

На первом этапе исследования разработана математическая модель блока фотоприемного

устройства (БФПУ) из состава ПОКЗ. Типовая конструкция БФПУ показана на рис. 1.

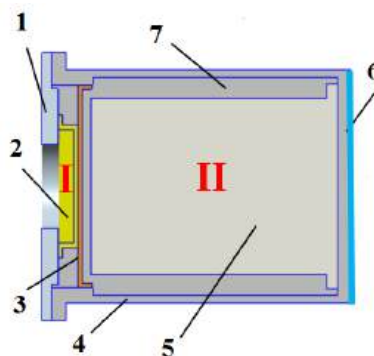


Рис. 1. Типовая конструкция блока БФПУ:

1 — крышка; 2 — держатель ФПЗС; 3 — радиатор; 4 — корпус; 5 — рама с ЭРИ; 6 — теплоотводящая поверхность; 7 — боковая стенка; I, II — источники тепловыделения (ФПЗС и ячейки)

Для формирования математической модели теплообмена в БФПУ сделаны следующие допущения:

- общее тепловыделение зоны I (зона расположения ФПЗС) равно ее потребляемой мощности;
- общее тепловыделение зоны II (зона расположения ячеек) равно ее потребляемой мощности;
- температура от ФПЗС и ячеек распределяется равномерно по соответствующим поверхностям;
- нет вынужденной конвекции;
- температура теплоотводящей поверхности постоянна (обеспечивается СОТР КА) и составляет 20 °С;

Разживалов Павел Николаевич, начальник КБ № 1, доцент.

E-mail: razzhivalovpavel@gmail.com

Кудряшов Дмитрий Дмитриевич, инженер-конструктор, магистр.

E-mail: kop399@yandex.ru

Шаталова Светлана Александровна, магистр.

E-mail: shatalova.hikari@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 13 ноября 2020 г.

© Разживалов П. Н., Кудряшов Д. Д., Шаталова С. А., 2021

- теплоотводящая поверхность обеспечивает теплоотвод всей выделяемой мощности;
- общее тепловыделение (или потребляемая мощность) БФПУ обусловлено только теплопроводной составляющей [5, 6];
- режим работы БФПУ — стационарный.

Для того чтобы найти максимальные температуры исследуемых узлов БФПУ, используем известное уравнение [7, 8], которое в общем виде можно представить как

$$q = \frac{Q}{S} = \alpha \Delta t = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t, \text{ или } \Delta t = \frac{Q}{\alpha S}, \quad (1)$$

где $q = \frac{Q}{S}$ — плотность теплового потока через зону, Вт/м²;
 S — площадь сечения зоны, м²;
 Δt — разница температур между тепловыделяющей и теплоотдающей поверхностями зоны, К;
 $\alpha = \frac{\lambda}{\delta}$ — тепловая проводимость зоны (эквивалентная по смыслу коэффициенту теплопередачи [3]), Вт/(м²·К);
 δ — длина зоны, м;
 λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

Рассмотрим случай, когда источником тепловыделения является зона I (зона расположения ФПЗС) и рассчитаем тепловую проводимость для нее. В связи со сложностью конструкции БФПУ необходимо разбить модель на более простые участки и найти их термическое сопротивление, просуммировав которое, можно получить результирующую тепловую проводимость зоны. На рис. 2 представлена схема разбиения БФПУ на участки термического сопротивления для половины блока (т. к. блок симметричен) от источника тепла к теплоотдающей поверхности.

В соответствии с рис. 2 можно выделить 3 пути, по которым идет тепловой поток. Каждый путь имеет свое термическое сопротивление, которое может быть представлено как

$$R_{I_1} = R_{A-B} + R_{1-2} + R_{B-B} + R_{B-\Gamma} + R_{2-3} + R_{\Gamma-D} + R_{D-E} + R_{E-Ж}; \quad (2)$$

$$R_{I_2} = R_{\Gamma-Л} + R_{Л-М} + R_{3-5} + R_{М-Н} + R_{Н-О} + R_{5-3} + R_{О-Д}; \quad (3)$$

$$R_{I_3} = R_{\Gamma-И} + R_{И-К} + R_{К-Л} + R_{Л-Д}, \quad (4)$$

где R_{A-B} , R_{B-B} , $R_{B-\Gamma}$, $R_{\Gamma-D}$, R_{D-E} , $R_{E-Ж}$, $R_{\Gamma-Л}$, $R_{Л-М}$, $R_{М-Н}$, $R_{Н-О}$, $R_{О-Д}$, $R_{\Gamma-И}$, $R_{И-К}$, $R_{К-Л}$, $R_{Л-Д}$ — термическое сопротивление участков;

R_{1-2} , R_{2-3} , R_{3-4} , R_{4-3} — термическое сопротивление контакта участков;

R_{I_1} , R_{I_2} , R_{I_3} — термические сопротивления по путям 1, 2 и 3 соответственно.

Тогда общее термическое сопротивление для зоны I запишем следующим образом:

$$\frac{1}{R_I} = 2 \frac{1}{R_{I_1}} + 2 \frac{1}{R_{I_2}} + 2 \frac{1}{R_{I_3}}. \quad (5)$$

Термическое сопротивление участка R_i рассчитывается по формуле [3, 4, 9, 10]

$$R_i = \frac{l_i}{\lambda_i}, \quad (6)$$

где l_i — длина i -го участка, м;

λ_i — коэффициент теплопроводности материала i -го участка, Вт/(м·К).

Расчетные данные термического сопротивления участков представлены в табл. 1.

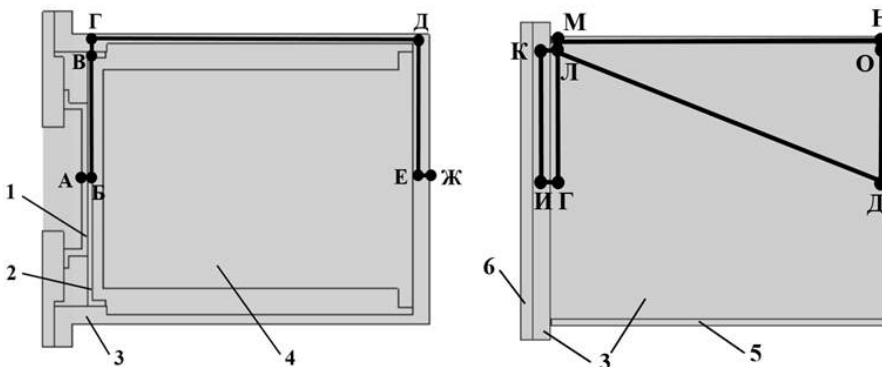


Рис. 2. Схема разбиения зоны I БФПУ на участки термического сопротивления:

А—Б, Б—В, В—Г, Г—Д, Д—Е, Е—Ж, Г—Л, Л—М, М—Н, Н—О, О—Д, Г—И, И—К, К—Л, Л—Д — участки разбиения; 1 — держатель ФПЗС; 2 — радиатор; 3 — корпус; 4 — рама; 5 — боковые съемные стенки; 6 — крышка

Таблица 1

Термическое сопротивление участков зоны I БФПУ

№	Участок	Материал	Коэффициент теплопроводности λ_i , Вт/(м·К)	Длина участка l_i , 10^{-3} м	Величина термического сопротивления участка R_i , м ² ·К/Вт
1	А—Б	Сплав 36Н ГОСТ 10994-74	11	5	0,00045
2	Б—В	Медь	390	69	0,00018
3	В—Г	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	120	17	0,00014
4	Г—Д			190	0,0016
5	Д—Е			159	0,0013
6	Е—Ж			12	0,0001
7	Г—Л			74	0,00062
8	Л—М			8	0,00006
9	М—Н			190	0,0016
10	Н—О			8	0,00006
11	О—Д			74	0,00062
12	Г—И			11	0,0001
13	И—К			74	0,00062
14	К—Л			11	0,0001
15	Л—Д			208	0,0017

Формула для расчета термического сопротивления в контакте R_K между участками имеет вид [3, 4]:

$$\frac{1}{R_K} = a_K = a_c + a_m, \quad (7)$$

где a_K — тепловая проводимость контакта, Вт/(м²·К);

a_c — тепловая проводимость среды, Вт/(м²·К);

a_m — тепловая проводимость материалов, Вт/(м²·К).

Тепловая проводимость среды

$$a_c = \frac{\lambda_c Y(X)}{2(h_1 + h_2)}, \quad (8)$$

где λ_c — коэффициент теплопроводности среды в зоне контакта (в нашем случае азота), $\lambda_c = 0,026$ Вт/(м·К);

$Y(X)$ — зависимость, характеризующая форму выступа шероховатости [3, 4];

h_1, h_2 — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов и глубин пяти наибольших впадин каждой из контактирующих поверхностей (т. е. R_z , м);

$$Y(X) = \frac{0,6}{1 + 0,5X} + 0,4 \ln(1 + 2X), \quad (9)$$

где $X = 2(h_1 + h_2)$.

Тепловая проводимость материала

$$a_m = 8 \cdot 10^3 \bar{\lambda}_m \left(\frac{G}{3\sigma_B} K \right)^{0,86}, \quad (10)$$

где $\bar{\lambda}_m$ — приведенный коэффициент теплопроводности контактирующих материалов, Вт/(м·К);

G — удельная нормальная нагрузка на поверхность соприкосновения (контактное давление), Н/м²;

σ_B — временное сопротивление разрыву или предел прочности, Н/м²;

K — коэффициент заполнения профиля волн (шероховатости).

Приведенная теплопроводность контактирующих материалов находится как [4]:

$$\bar{\lambda}_m = \frac{2\lambda_{m1}\lambda_{m2}}{\lambda_{m1} + \lambda_{m2}}, \quad (11)$$

где λ_{m1} — теплопроводность первого материала контакта, Вт/(м·К);

λ_{m2} — теплопроводность второго материала контакта, Вт/(м·К).

Соединение деталей в конструкции осуществляется с помощью винтов, например М4 из материала "сталь 45" [11, 12]. Рекомендованные усилия затяжки для такого типа соединения составляют 60 кгс [13, 14]. Для определения контактного давления воспользуемся выражением

$$G = \frac{n F_{\text{зат}}}{S_{\text{кон}}}, \quad (12)$$

где $F_{\text{зат}}$ — усилие затяжки винта, Н;
 $S_{\text{кон}}$ — фактическая площадь контакта деталей, м²;
 n — количество винтов, шт.

Коэффициент заполнения профиля шероховатости зависит от общей высоты профиля шероховатости в зоне контакта [3, 4]:

$$K = 1 \text{ при } h_1 + h_2 \geq 30 \text{ мкм}; \quad (13)$$

$$K = \left(\frac{30}{h_1 + h_2} \right)^{1/3} \text{ при } 10 \text{ мкм} < h_1 + h_2 < 30 \text{ мкм};$$

$$K = 15/(h_1 + h_2) \text{ при } h_1 + h_2 \leq 10 \text{ мкм}.$$

Данные по материалам деталей БФПУ и их термомеханические свойства приведены в табл. 2 [15, 16].

По формулам (8)—(13) получены данные по контактному термическому сопротивлению между участками. В табл. 3 представлены соответствующие расчетные значения.

Подставив полученные данные в формулы (2)—(5), получаем значения термических сопротивлений и общую тепловую проводимость:

$$R_{I_1} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$R_{I_2} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$R_{I_3} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$a_I = \frac{1}{R_I} = 2 \frac{1}{R_{I_1}} + 2 \frac{1}{R_{I_2}} + 2 \frac{1}{R_{I_3}} = 1606 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Подставляя результаты в формулу (1), получаем разность температур между поверхностью расположения ФПЗС и теплоотдающей поверхностью:

$$\Delta t_I = \frac{Q_I}{a_I S_{\text{срI}}} = 13,532 \text{ К}, \quad (14)$$

где Q_I — тепловыделение зоны I, Вт;

$S_{\text{срI}}$ — усредненная площадь сечения, по которому идет тепловой поток от ФПЗС до теплоотдающей поверхности, м².

Аналогично проведем исследование зоны II БФПУ (зоны расположения ячеек с ЭРИ). Так как ячейки располагаются на раме, которая непосредственно контактирует с теплоотдающей поверхностью, самая горячая точка будет располагаться в верхней центральной части рамы.

Таблица 2

Материалы и термомеханические свойства деталей БФПУ

Деталь конструкции	Материал	Коэффициент теплопроводности λ_m , Вт/(м·К)	Шероховатость R_z , мкм	Предел прочности σ_b , 10 ⁶ Н/м ²
Держатель ФПЗС	Сплав 36Н ГОСТ 10994-74 (инвар)	11	20	1100
Радиатор	Медь марки М1 ГОСТ 859 — 2001	390	20	215
Корпус	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	120	40	480
Боковые стенки				
Рама				
Крышка	Титан марки ВТ-1 ГОСТ 19807-91	16	40	500

Таблица 3

Расчетное термическое сопротивление контакта между участками зоны I БФПУ

Расчетные данные	Контактируемые детали		
	Держатель ФПЗС и радиатор (1—2)	Радиатор и корпус (2—3)	Корпус и боковая стенка (3—5 и 5—3)
Фактическая площадь контакта $S_{\text{кон}}$, м ²	0,0058	0,0006	0,0106
Количество винтов М4, шт.	6	2	12
Контактное давление G , Н/м ²	620 690	2 000 000	679 245
Тепловая проводимость среды a_c , Вт/(м ² ·К)	130	97,5	97,5
Тепловая проводимость материалов a_m , Вт/(м ² ·К)	435,6	10 220	1323
Тепловая проводимость контакта a_k , Вт/(м ² ·К)	565,6	10 317,5	1420,5

На рис. 3 представлена схема разбиения теплового сопротивления для половины блока (так как блок симметричен) от горячей точки зоны II до теплоотдающей поверхности.

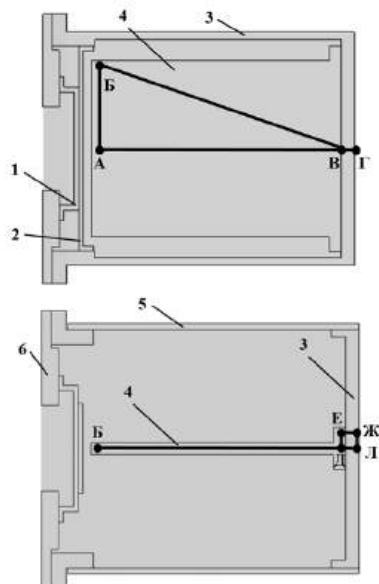


Рис. 3. Схема разбиения зоны II БФПУ на участки термического сопротивления:

А—Б, А—В, Б—В, В—Г, Б—Д, Д—Л, Д—Е, Е—Ж, Ж—Л — участки разбиения; 1 — держатель ФПЗС; 2 — радиатор; 3 — корпус; 4 — рама; 5 — боковые съемные стенки; 6 — крышка

В соответствии с рис. 3 можно выделить 4 пути, по которым идет тепловой поток. Каждый путь имеет свое термическое сопротивление, которое может быть представлено в виде

$$R_{II_1} = R_{A-B} + R_{B-\Gamma} + R_{4-3}; \quad (15)$$

$$R_{II_2} = R_{A-B} + R_{B-B} + R_{B-\Gamma} + R_{4-3}; \quad (16)$$

$$R_{II_3} = R_{B-D} + R_{D-L} + R_{4-3}; \quad (17)$$

$$R_{II_4} = R_{B-D} + R_{D-E} + R_{E-J} + R_{4-3} + R_{J-L}, \quad (18)$$

где R_{A-B} , $R_{B-\Gamma}$, R_{A-B} , R_{B-B} , R_{B-D} , R_{D-L} , R_{D-E} , R_{E-J} , R_{J-L} — термические сопротивления участков;

R_{4-3} — термическое сопротивление контакта участков;

R_{II_1} , R_{II_2} , R_{II_3} , R_{II_4} — термические сопротивления по путям 1, 2, 3 и 4 соответственно.

Расчетные данные термических сопротивлений материалов зоны II представлены в табл. 4, расчетные данные по термическим сопротивлениям контакта деталей — в табл. 5. Термомеханические свойства деталей приведены в табл. 2.

Таблица 4

Термическое сопротивление участков зоны II БФПУ

№	Участок	Материал	Коэффициент теплопроводности λ_i , Вт/(м·К)	Длина участка l_i , 10^{-3} м	Величина термического сопротивления участка R_i , $m^2 \cdot K / Wt$
1	А—В	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	120	170	0,00142
2	В—Г			9	0,00007
3	А—Б			60	0,0005
4	Б—В			180,3	0,0015
5	Б—Д			170	0,00142
6	Д—Л			14	0,00012
7	Д—Е			14	0,00012
8	Е—Ж			14	0,00012
9	Ж—Л			14	0,00012

Таблица 5

Расчетное термическое сопротивление контакта между участками зоны II БФПУ

Расчетные данные	Контактируемые детали
	Рама и корпус (4—3)
Фактическая площадь контакта $S_{кон}$, m^2	0,0039
Количество винтов М4, шт.	6
Контактное давление G , Н/м ²	923 077
Тепловая проводимость среды a_c , Вт/(м ² ·К)	97,5
Тепловая проводимость материалов a_m , Вт/(м ² ·К)	1723
Тепловая проводимость контакта a_k , Вт/(м ² ·К)	1820,5

Подставив полученные данные в формулы (15)–(18), получим значения термических сопротивлений и общую тепловую проводимость:

$$R_{II_1} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$R_{II_2} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$R_{II_3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$R_{II_4} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$\alpha_{II} = \frac{1}{R_{II}} = 2 \frac{1}{R_{II_1}} + 2 \frac{1}{R_{II_2}} + 2 \frac{1}{R_{II_3}} = 3576 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Подставляя результаты в формулу (1), получаем разность температур между самой горячей частью рамы и теплоотдающей поверхностью:

$$\Delta t_{II} = \frac{Q_{II}}{\alpha_{II} \cdot S_{cpII}} = 14,172 \text{ К}, \quad (19)$$

где Q_{II} — тепловыделение зоны II, Вт;

S_{cpII} — усредненная площадь сечения, по которому идет тепловой поток через раму до теплоотдающей поверхности, м^2 .

Так как теплоотдающая поверхность имеет температуру 20°C , максимальная температура поверхности держателя ФПЗС, расположенного в зоне I, составляет $33,5^\circ\text{C}$, а температура рамы в зоне II, на которой установлены ячейки, $34,15^\circ\text{C}$. Данные значения температур получены при условии, что одна из зон не влияет на работу другой, т. е. они работают по очереди.

Для оценки влияния зон БФПУ друг на друга необходимо применить принцип суперпозиции для каждого элемента разбиения. Решение данной задачи весьма затруднительно без использования современных САПР. В дальнейшем исследования будут проводиться с использованием САПР Creo Parametric 2.0 [17], а описанные результаты математического моделирования будут использоваться в качестве исходных данных для проверки адекватности проводимых исследований.

Вторым этапом исследования, типовой конструкции ПОКЗ разработана трехмерная модель БФПУ в Creo Parametric 2.0. Пакет программы Creo Simulate позволяет получить температурное поле в исследуемых зонах БФПУ с учетом взаимного влияния друг на друга. Основной принцип решения — метод конечных элементов [18, 19]. При проведении теплового моделирования с использованием САПР сделаны допущения, аналогичные тем, которые были представлены ранее при разработке математической модели. Моделирование проводили для двух вариантов граничных условий:

— **без учета** термического сопротивления контакта между деталями в БФПУ, полученного в ходе расчета с помощью математической модели;

— **с учетом** термического сопротивления контакта между деталями в БФПУ, полученного в ходе расчета с помощью математической модели.

Результаты моделирования с использованием САПР представлены в табл. 6. Для сравнения в данной таблице приведены результаты, полученные расчетным путем с помощью математической модели.

Как видно из табл. 6, более высокий процент сходимости дает комбинированная методика моделирования. Данная методика последовательно сочетает в себе предварительный расчет термического сопротивления контакта R_k между компонентами и процесс моделирования с помощью САПР. На последующих этапах исследования всего ПОКЗ использована комбинированная методика моделирования. С ее помощью получены результаты распределения температуры по конструкции ПОКЗ и определен вклад различных источников в итоговую температуру в зоне расположения ФПЗС.

По итогам проведения исследований сделано предположение о влиянии количества контактов сборочной единицы на величину достоверности (процент сходимости) полученных при помощи САПР результатов. В дальнейших работах планируется определить данную зависимость.

Таблица 6

Результаты расчета и моделирования типовой конструкции БФПУ

Значения температуры основных узлов	Результаты расчета с помощью математической модели, $^\circ\text{C}$	Результаты моделирования в САПР Creo Parametric 2.0, $^\circ\text{C}$	Сходимость результатов, %
Зона I (ФПЗС, тепловая мощность 10 Вт)	33,5	Без учета контактного сопротивления 28,9	15
		С учетом контактного сопротивления (комбинированная методика расчета) 32,3	3,5
Зона II (ячейки, тепловая мощность 30 Вт)	34,1	Без учета контактного сопротивления 31,3	10
		С учетом контактного сопротивления (комбинированная методика)	2

		расчета) 33,4	
--	--	---------------	--

Выводы

В результате проведенных исследований:

- установлено, что при наличии в сборочной единице 8 зон контактов процент сходимости результатов, полученных в САПР *без учета* термического сопротивления контакта между деталями (случай "идеальный контакт"), составляет примерно 15 % по отношению к расчетному методу при помощи математической модели. Для результатов *с учетом* термического сопротивления контакта это 3,5 %;
- установлено, что при наличии в сборочной единице 5 зон контактов процент сходимости результатов, полученных в САПР *без учета* термического сопротивления контакта между деталями (случай "идеальный контакт"), составляет

величину примерно 10 % по отношению к расчетному методу при помощи математической модели. Для результатов *с учетом* термического сопротивления контакта это 2 %.

- когда приемлемы результаты с погрешностью до 20—30 %, то возможно использование трехмерных моделей с допущениями о "идеальном контакте". Для прочих случаев (погрешность результатов до 10—12 %) необходимо проводить моделирование с обязательным учетом термического сопротивления контакта;
- по результатам проведения исследований сделано предположение о влиянии количества контактов сборочной единицы на величину достоверности (процент сходимости) полученных при помощи САПР результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцев А. В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности: учеб. пособие. — Калининград: Калинингр. ун-т, 1995. — 170 с.
2. Розин Л. А. Метод конечных элементов // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 4. С. 120—127.
3. Шлыков Ю. П., Ганин Е. А., Царевский С. Н. Контактное термическое сопротивление. — М.: Энергия, 1977. — 328 с.
4. Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. — М.: Энергия, 1971. — 216 с.
5. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи: Изд. 2, стереотип. — М.: Энергия, 1977. — 344 с.
6. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: учебник для вузов по спец. "Конструир. и произв. радиоаппаратуры". — М.: Высш. шк., 1984. — 247 с.
7. Савин И. К. Теоретические основы теплотехники (Краткий курс). Ч. II. Теплопередача: учеб. пособие. — Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. — 172 с.
8. Бухмиров В. В. Тепломассообмен: учеб. пособие. — Иваново: ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина", 2014. — 360 с.
9. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Энергия, 1975. — 488 с.
10. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1964. — 488 с.
11. ГОСТ 1491-80 Винты с цилиндрической головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры. Введ. 01.01.1982. — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 7 с.
12. ГОСТ 1050-88 Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Введ. 01.01.1991. — М.: Изд-во стандартов, 1988. — 30 с.
13. ОСТ 1 00017-89 Моменты затяжек болтов, винтов и шпилек. Общие требования. Введ. 01.01.1990. — 24 с.
14. ОСТ 4Г 0.019.200 Соединения резьбовые. Способы и виды предохранения от самоотвинчивания. Введ. 07.01.1979. — 39 с.
15. Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. — М.: Машиностроение, 2001. — 3 т.
16. Бабичев А. П. и др. Физические величины: справочник / под. ред. Григорьева И. С., Мейлихова Е. З. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
17. РТС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ptc.com> (2017).
18. Румянцев А. В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности: учеб. пособие. — Калининград: Калинингр. ун-т, 1995. — 170 с.
19. Розин Л. А. Метод конечных элементов // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 4. С. 120—127.

COMBINED THERMAL DESIGN SIMULATION STAR SENSOR

^{1,2} P. N. Razzhivalov, ^{1,2} D. D. Kudryashov, ² S. A. Shatalova

¹ Joint Stock Company Space Rocket Centre "Progress" — Scientific and Production Enterprise "OPTEKS", Zelenograd, Moscow, Russia

² Institute of Nano — MicroSystem Technology National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd, Moscow, Russia

In this work, a study of the photodetector unit from the composition of the device for determining the coordinates of stars (or star sensor) is carried out. The purpose of the study, in addition to determining the value of the temperature and its distribution over the main units of the device, was to solve the problem of assessing the degree of reliability of simulation results using CAD. From the analysis of the results obtained, it follows that for cases where the results with an error of up to 20–30 % are acceptable, then it is possible to use three-dimensional models with the assumptions of "ideal contact". For other cases (error of results up to 10–12 %), it is necessary to carry out modeling with the obligatory consideration of the thermal resistance of the contact.

Keywords: star sensor, star device, device for determining the coordinates of stars, photodetector unit, thermal contact resistance, engineering calculation, CAD.

Bibliography — 19 references.

Received November 13, 2020

УДК 681.5.015 (681.518)

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_46

АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА*Д. П. Дубинин*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Разработан алгоритм планирования движения автономного мобильного робота. В основе алгоритма лежит расчет вероятности достижения конкретных точек планируемой к пересечению местности с использованием данных навигационной системы о расстояниях и угловых координат. Для апробации алгоритма разработана имитационная модель в MATLAB с использованием комплекса Simulink. Проведено моделирование, в ходе которого рассчитаны наиболее опасный участок пути и вероятность столкновения робота с препятствием. Сделаны выводы о планируемых расширениях возможностей алгоритма и модели.

Ключевые слова: мобильный робот, траектория, навигационная система, алгоритм планирования, вероятность столкновения, имитационная модель, MATLAB.

Мобильные роботы (МР) способны автономно двигаться, огибая препятствия, используя для планирования траектории сведения о собственном положении и окружающей местности, поступающие от навигационной системы (НС), в которую преимущественно входят GPS/ГЛОНАСС, приборы технического зрения, дальнометры, инерционные навигационные датчики и т. д. Наибольшее применение нашли алгоритмы планирования движения МР, основанные на нейросетевом вычислении. Например, в работе [1] описан алгоритм создания карты для автономного МР с помощью вероятностной интерпретации пространства из ассоциативной памяти нейронной сети. В таких алгоритмах каждый узел сети (нейрон) отражает определенную ячейку местности [2]. Однако несмотря на высокое развитие технического обеспечения НС, информация, предоставляемая ими, имеет погрешности [3]. Поэтому приобретает значение создание алгоритмов, снижающих вероятность столкновения.

Цель — данной работы разработка алгоритма планирования траектории мобильного робота на основе минимизации вероятности столкновения с препятствиями.

Алгоритм планирования траектории

Рассмотрим задачу планирования прямолинейного движения МР к цели на плоскости с

препятствиями (рис. 1). В рассматриваемом варианте роботу необходимо достичь цели, двигаясь по прямой, и при этом оценивать вероятность столкновения с неподвижными препятствиями, расположенными вдоль пути.

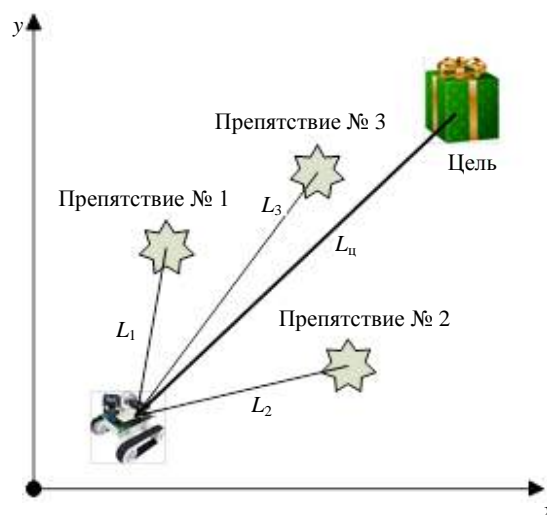


Рис. 1. Схема движения робота

Вероятность достижения цели в каждый определённый промежуток времени можно считать как

$$P_{ц}(t_i) = \frac{l_{цi}}{l_{ц}}, \quad (1)$$

где $l_{ц}$ — длина пути, который необходимо пройти к цели в начальный момент времени t_0 ;

$l_{цi}$ — длина пути, пройденная роботом к цели по прямой за промежуток времени t_i .

Дубинин Дмитрий Павлович, преподаватель.
E-mail: dubinindp@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11 ноября 2020 г.

© Дубинин Д. П., 2021

Вероятность столкновения сразу с тремя препятствиями рассчитывается по формуле [4]

$$P_{\Pi}(t_i) = P_{\Pi 1}(t_i) P_{\Pi 2}(t_i) P_{\Pi 3}(t_i) = \frac{l_{\Pi 1} - l_{\Pi 1i}}{l_{\Pi 1}} \frac{l_{\Pi 2} - l_{\Pi 2i}}{l_{\Pi 2}} \frac{l_{\Pi 3} - l_{\Pi 3i}}{l_{\Pi 3}}, \quad (2)$$

где $P_{\Pi 1}(t_i)$, $P_{\Pi 2}(t_i)$ и $P_{\Pi 3}(t_i)$ — вероятности столкновения с первым, вторым и третьим препятствиями соответственно;

$l_{\Pi 1}$, $l_{\Pi 2}$ и $l_{\Pi 3}$ — расстояния до первого, второго и третьего препятствия в начальный момент времени t_0 ;

$l_{\Pi 1i}$, $l_{\Pi 2i}$ и $l_{\Pi 3i}$ — расстояния до первого, второго и третьего препятствия в начальный момент времени t_i ;

Вероятность столкновения хотя бы с одним из препятствий рассчитывается по формуле [4]

$$P_{\Pi}(t_i) = \left[\frac{l_{\Pi 1} - l_{\Pi 1i}}{l_{\Pi 1}} \left(1 - \frac{l_{\Pi 2} - l_{\Pi 2i}}{l_{\Pi 2}} \right) \left(1 - \frac{l_{\Pi 3} - l_{\Pi 3i}}{l_{\Pi 3}} \right) \right] + \left[\left(1 - \frac{l_{\Pi 1} - l_{\Pi 1i}}{l_{\Pi 1}} \right) \frac{l_{\Pi 2} - l_{\Pi 2i}}{l_{\Pi 2}} \left(1 - \frac{l_{\Pi 3} - l_{\Pi 3i}}{l_{\Pi 3}} \right) \right] + \left[\left(1 - \frac{l_{\Pi 1} - l_{\Pi 1i}}{l_{\Pi 1}} \right) \left(1 - \frac{l_{\Pi 2} - l_{\Pi 2i}}{l_{\Pi 2}} \right) \frac{l_{\Pi 3} - l_{\Pi 3i}}{l_{\Pi 3}} \right]. \quad (3)$$

В общем виде алгоритм планирования движения МР на основе вычисления вероятностных оценок местности представлен на рис. 2.

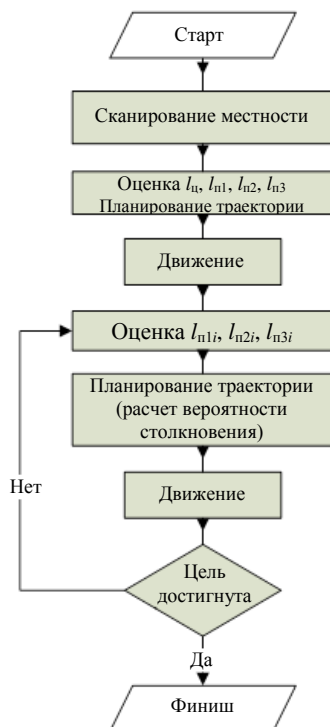


Рис. 2. Алгоритм планирования движения

Поскольку робот движется по прямой линии к цели, расстояние до препятствия в t_i можно выразить как $l_{\Pi i} = \sqrt{l_{\Pi i}^2 + l_{\Pi 1}^2 - 2 l_{\Pi i} l_{\Pi 1} \cos \alpha}$ [5]. В таком случае максимальная вероятность столкновения с препятствием $P_{\Pi 1}^{\max}(t_i)$ будет в точке, соответствующей $l_{\Pi i} = l_{\Pi 1}^{\max} = l_{\Pi 1} \cos \alpha$, т. е. $P_{\Pi 1}^{\max}(t) = \frac{l_{\Pi 1}^{\max}}{l_{\Pi 1}} = \frac{l_{\Pi 1} \cos \alpha}{l_{\Pi 1}}$ (рис. 3).

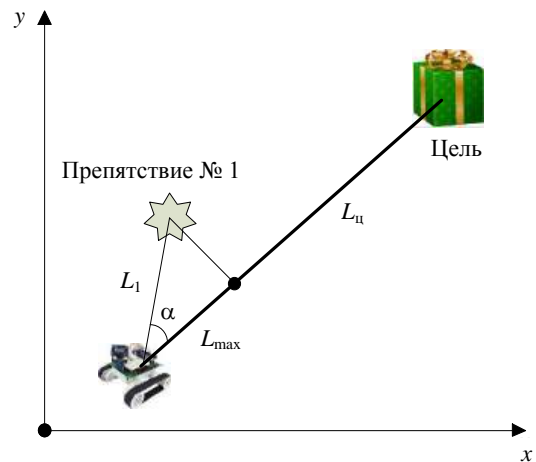


Рис. 3. Схема вычисления наиболее опасного участка пути

В таком случае планирование траектории в момент времени t_0 заключается в нахождении $P_{\Pi 1}^{\max}(t)$, $P_{\Pi 2}^{\max}(t)$, $P_{\Pi 3}^{\max}(t)$ и сравнении их с критическим значением $P_{\Pi}^{\text{крит}}(t)$, при котором траектория движения считается невыполнимой (например, $P_{\Pi}^{\max}(t) \leq 0,99 P_{\Pi}^{\text{крит}}(t)$). Цель достигается при выполнении условия $P_{\Pi}(t_i) = \frac{l_{\Pi i}}{l_{\Pi}} = 1$.

Моделирование движения мобильного робота

В качестве апробации алгоритма разработана имитационная модель в MATLAB с использованием комплекса Simulink. В состав имитационной модели входят блоки (рис. 4):

- моделирования пройденного пути $l_{\Pi i}$;
- формирования координат препятствий $\alpha_{\Pi 1}$, $\alpha_{\Pi 2}$, $\alpha_{\Pi 3}$ и расчета расстояния до препятствия $l_{\Pi i}$;
- расчета наиболее опасного участка;
- расчета вероятности достижения цели;
- расчета вероятности столкновения с препятствием $P_{\Pi}(t_i)$;
- визуализации моделирования.

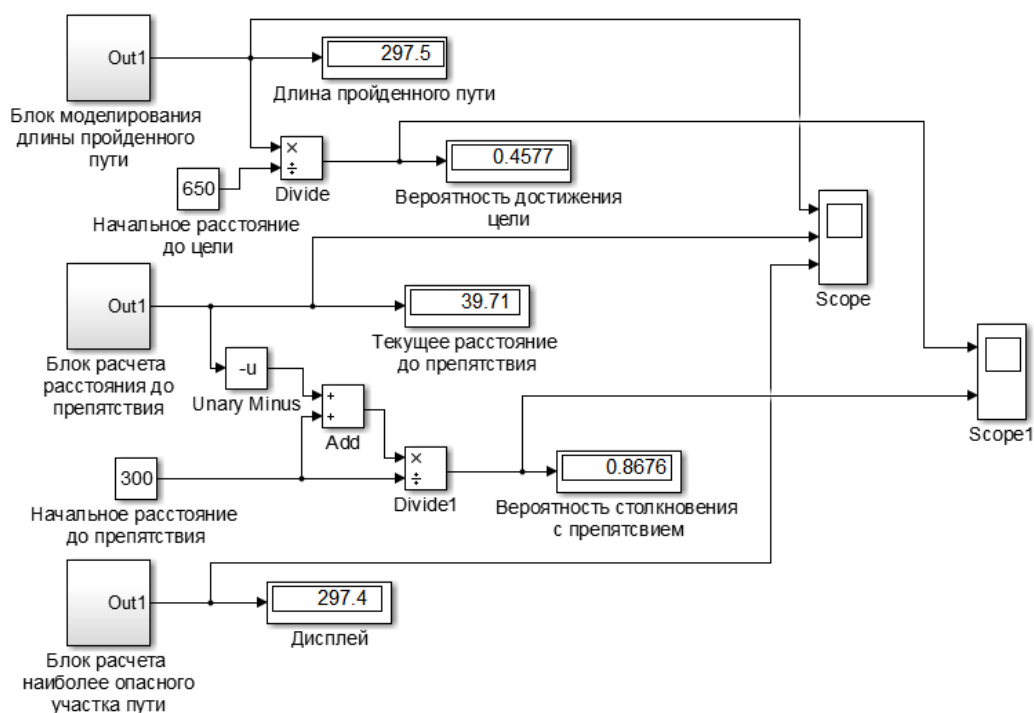


Рис. 4. Имитационная модель движения мобильного робота

В качестве примера на рис. 5 и 6 приведены результаты моделирования движения МР по линейной траектории, а также параллельного вычисления вероятностных оценок.

Моделирование показало, что наиболее опасный участок будет достигнут роботом при длине пройденного пути 297,5 модельных ед. длины в момент 59,5 ед. модельного времени, что соответствует расстоянию 39,71 модельных ед. длины до препятствия. На графике расстояний это отображено пересечением 3-й и 1-й линий (рис. 5), на графике вероятностных оценок — максимальным значением 0,8676 (рис. 6).

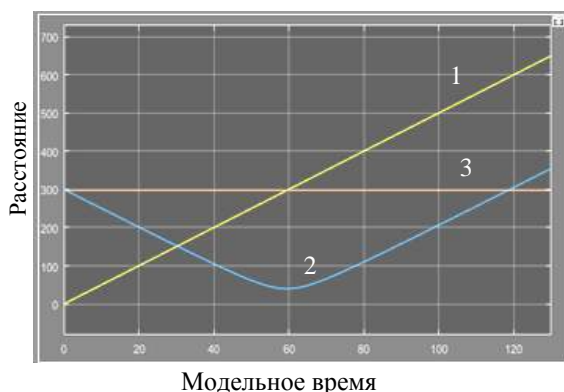


Рис. 5. Результаты моделирования движения робота к цели:
1 — пройденный роботом путь; 2 — расстояние до препятствия; 3 — участок пути с наибольшей вероятностью столкновения

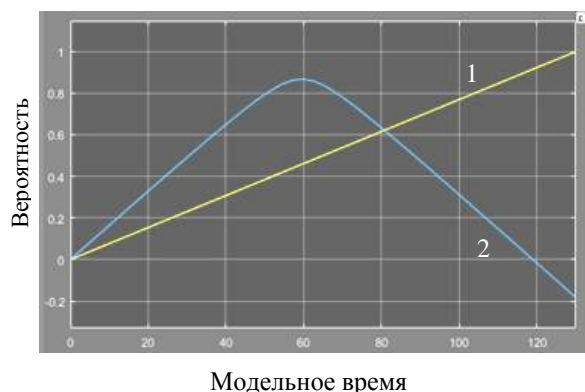


Рис. 6. Результаты расчета вероятности:
1 — достижения цели; 2 — столкновения

Выводы

Имитационное моделирование показало, что разработанный алгоритм планирования движения МР в условиях сложной местности при относительной простоте может оценивать безопасность траектории. При необходимости его возможности можно расширить, введя комплекс учета движения препятствий и неровности поверхности. Алгоритм достаточно хорошо отображает динамику вероятностных показателей приближения МР к различным участкам местности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Meikle S., Yates R., Harris A.** Computer Vision Algorithms for Autonomous Mobile Robot Map Building and Path Planning: ITSC'97: IEEE Conf. on Intelligent Transport. System. 9–12 Nov. 1997, Boston. — Boston, 1997. P. 99–109.
2. **Большаков А. А., Степанов М. Ф., Степанов А. М., Ульянина Ю. А.** Планирование траектории движения мобильного робота // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 51. С. 176–180.
3. **Аль-Мансур М., Шуаиб И., Джафар А., Потапов А. А.** Аналитический алгоритм оценки пространственного положения и курса объекта // Гирокоспия и навигация. 2019. № 1(104). С. 72–92.
4. **Плохотников К. Э., Николенко В. Н.** Теория вероятностей в пакете MATLAB: учебник для вузов. — М.: Горячая линия-Телеком, 2014. — 611 с.
5. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике (для научных работников и инженеров). — М.: Наука, 1973. — 720 с.

ALGORITHM FOR PLANNING THE MOVEMENT OF A MOBILE ROBOT

D. P. Dubinin

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The work is devoted to the development of an algorithm for planning the movement of an autonomous mobile robot, which is based on calculating the probability of reaching specific points of the terrain planned for crossing, using the data of the navigation system on distances and angular coordinates. To test the algorithm, a simulation model was developed in MATLAB using the Simulink complex. Simulation was carried out, during which the most dangerous section of the path and the probability of a robot colliding with an obstacle were calculated. Conclusions are made about the planned enhancements of the algorithm and model.

Keywords: mobile robot, trajectory, navigation system, planning algorithm, collision probabilities, simulation model, MATLAB.

Bibliography — 5 references.

Received November 11, 2020

УДК 656.61.052:681.5

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_50

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИНЦИПА РАБОТЫ НАВИГАЦИОННОГО ЭХОЛОТА JMC-F1000

Н. В. Ивановский, канд. техн. наук; Н. И. Величко; А. С. Соболев
ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
г. Керчь, Республика Крым, Россия

А. В. Дегтярев

GMZ Ship Management co S. A. Beirut, Бейрут, Ливан

Рассмотрены особенности режимов работы навигационного эхолота JMC-F1000. Разработана лабораторная установка для изучения и получения навыков работы с эхолотом. Предложен список учебно-исследовательских работ, которые можно выполнить с помощью лабораторной установки.

Ключевые слова: сила цели для разных материалов, расчет скорости звука в воде, режим "Белая линия", использование навигационного эхолота для навигации.

Современные навигационные эхолоты являются многофункциональными приборами с большим количеством опций и настроек. Знание, умение и владение навыками работы с ними способствуют их эффективному применению, что повышает навигационную безопасность судовождения [1].

Для получения навыков практического применения навигационного эхолота был использован навигационный эхолот JMC F-1000 со следующими эксплуатационными характеристиками:

- частота сканирования 200 кГц;
- диапазон глубин от 0,2 до 80 м (8 уровней, автоматическая/ручная настройка);
- диапазон измеряемых глубин 0,2—800 м;
- дискретность 0,03 м;
- чувствительность приемника 1 мВ;
- потребляемая мощность 12—40 Вт;

- минимальная глубина измерения 0,2 м (200 кГц);
- диапазон напряжения питания бортовой сети 11—40 В (24 В рекомендованное) пост. тока;
- мощность передатчика 600 Вт RMS;
- размер диагонали дисплея 5,7 дюймов;
- тип дисплея LCD (жидкокристаллический);
- разрешение экрана QVGA 320×240 пикселей;
- тип подсветки дисплея LED (светодиодная);
- интерфейсы 2х порта RS-422, 1×8-пиновый порт ввода/вывода данных (NMEA0183/RS-232C).

В данном навигационном эхолоте в качестве передающей антенны используют пьезоэлектрический преобразователь, что накладывает на эхолот запрет на эксплуатацию в вневодной среде (может произойти разрушение кристаллов преобразователя). Предложена схема практической установки, представляющей собой столб воды в трубе диаметром 170 мм, длиной 2100 мм. В верхней части трубы (рис. 1) для уменьшения помех от паразитных боковых лепестков установлен конус. Зеркальное отражение от стенок трубы влияет только на расширение эхосигналов по времени.

Эхосигналы, распространяющиеся по центральной оси трубы, проходят минимальный путь и отображаются первыми, поэтому точность определения глубины максимально возможная для этого эхолота. Эхосигналы с более длинным ходом лучей формируют расширение эхосигнала дна в сторону больших глубин и имитируют донную реверберацию.

Ивановский Николай Владимирович, доцент кафедры "Судовождение и промышленное рыболовство".

E-mail: inv8@mail.ru

Величко Николай Иванович, старший преподаватель кафедры "Судовождение и промышленное рыболовство".

E-mail: esiap@mail.ru

Соболев Александр Сергеевич, инженер кафедры "Электрооборудования судов и автоматизации производства".

E-mail: sobolev.alexandr1496@gmail.com

Дегтярев Андрей Владимирович, ведущий капитан компании.

E-mail: captainandreydegtyarev@gmail.com

Статья поступила в редакцию 11 ноября 2020 г.

© Ивановский Н. В., Величко Н. И., Соболев А. С., Дегтярев А. В., 2021

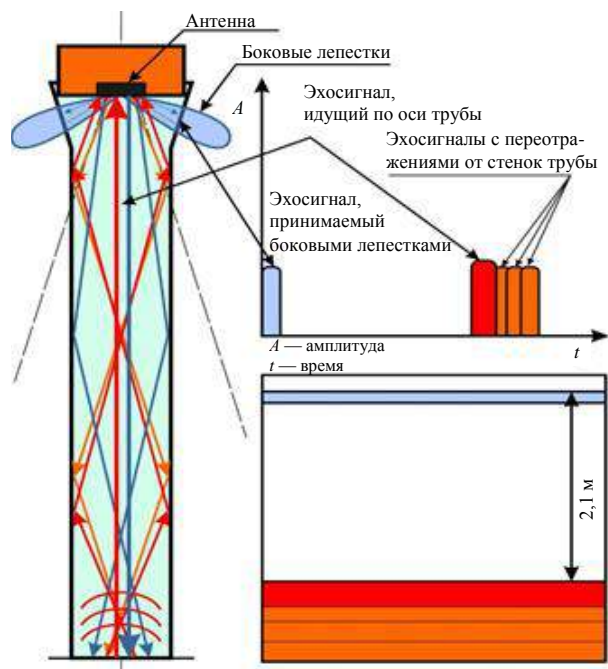


Рис. 1. Принцип формирования эхосигналов в лабораторной установке

На данной установке можно проводить следующие исследовательские и практические работы:

1. Определение угла раскрывает диаграммы направленности излучающей антенны. Для этого измеряется диаметр антенны, частота излучения известна. Это необходимо для определения максимальных углов качки судна, при которых непрерывна индикация глубины.

2. Определение скорости звука в воде при известной температуре. Измерив температуру воды в установке, можно рассчитать скорость звука в воде по эмпирической формуле Лероя [2–5]:

$$c = 1492,9 - 3(T - 10) - 6 \cdot 10^{-3}(T - 10)^2 - 4 \cdot 10^{-2}(T - 18)^2 + 1,2(S - 35) + Z / 61,$$

где S — соленость воды;

Z — глубина;

T — температура.

В навигационном эхолоте JMC F-1000 расчетную скорость звука можно изменять в пределах от 1400 до 1520 м/с. Определяем методом подбора скорости звука в воде до глубины 2,1 м (глубина водяного столба). Сравниваем результаты расчетов и приборные замеры, определяем величину погрешности. В итоге курсанты получают навыки юстировки эхолота в реальных условиях на мерной глубине [6];

3. В навигационном эхолоте JMC F-1000 есть возможность применения режима "Белая линия" (дифференциация отраженных эхосигналов по

амплитуде). Отраженный эхосигнал дна всегда имеет максимальный уровень. При наличии на дне придонной рыбы или взвеси возникает ошибка ложного определения глубины. В данной установке при помещении материала с малой плотностью наглядно видно при включении режима "Белая линия" отделение эхосигнала материала с малой отражательной способностью от эхосигнала дна.

4. Определение местоположения судна при помощи навигационного эхолота JMC F-1000 возможно при установке в меню величины осадки судна. Эхолот при этом будет измерять глубину не под килем, а от поверхности моря. Пересечение определенной изобаты совместно с курсом даст определение местоположения судна.

5. Определение силы цели для разных материалов (рис. 2) наглядно показывает уровень отражения для материалов разной плотности. В установке используют емкости с морским песком, скальным грунтом и гелем малой плотности. В навигационном эхолоте JMC F-1000 уровень отраженного сигнала индицируется палитрой цветов. Кратность перехода цвета равна 5 dB. Измерив ширину цветовых полос, можно построить амплитудную характеристику силы цели для каждого материала.

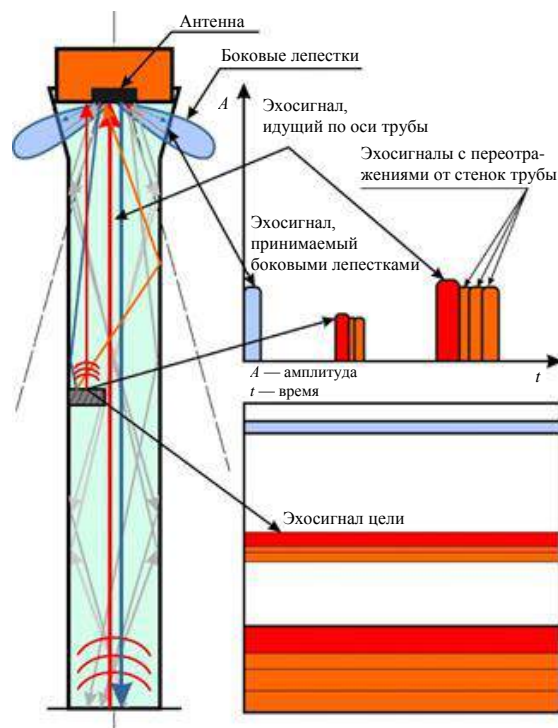


Рис. 2. Определение силы цели для разных материалов

Получение навыков работы с навигационным эхолотом возможно с применением режима "Дно". В этом режиме подавляются все эхосиг-

налы в установленном диапазоне глубин. Нужны практические навыки, чтобы определить диапазон подавления, определить и установить аварийную сигнализацию по минимально допустимой глубине.

Получение навыков настройки и применения эхолота в реальных условиях способствует лучшему пониманию курсантами принципа его работы. Курсанты знакомятся с техникой и технологиями, получают навыки использования навигационного эхолота.

Перед вводом в эксплуатацию эхолота курсантами проведена практическая работа по проверке точности измерения глубины, заявленной фирмой JMC [7, 8]. По формуле Лероя вычислена скорость звука в воде при $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, $S = 0\text{ }%$, $Z = 2,1\text{ м}$.

Скорость звука составила 1481,1 м/с. При установленном скорости $C = 1480\text{ м/с}$ (рис. 3) (устанавливается кратно десяти) измеренная глубина (рис. 4) равна $Z = 2,13\text{ м}$.

Погрешность составила не более 0,03 м, что находится в пределах точности, заявленной для навигационного эхолота JMC F-1000.



Рис. 3. Расчетная скорость звука

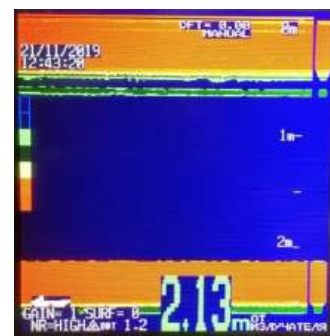


Рис. 4. Измеренная глубина

Выводы

Описанная установка в отличие от лабораторных бассейнов и морских полигонов отличается компактностью. Оперативное изменение глубины подвеса цели, определение силы цели с динамичной индикацией дают курсантам более глубокое понимание законов эхолокации. Большое количество учебно-исследовательских работ можно выполнить с минимальными затратами на изготовление лабораторной установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букатый В. М. Промысловая гидроакустика и рыболокция. — М.: Мир, 2003. — 496 с.
2. Судовые эхолоты / под ред. Хребтова А. А. — Л.: Судостроение, 1992. — 232 с.
3. Клецев А. А., Клюкин И. И. Основы гидроакустики: учебник для студентов вузов. — Л.: Судостроение, 1987. — 224 с.
4. Чапчай П. А. Электронавигационные приборы: учеб. пособие для курсантов и студентов морских вузов / под редакцией Алексейчука М. С. — Одесса: ОНМА, 2007. — 152 с.
5. Смирнов Е. Л., Яловенко А. В., Якушенков А. А. Технические средства судовождения: учебник для студентов вузов / под. ред. Смирнова Е. Л. — М: Транспорт, 1988. — 376 с.
6. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1978.
7. Биденко С. И., Елизаров Д. А., Черный С. Г., Шестаков В. М. Информационная технология компенсаторной идентификации пространственных данных от оптических систем наблюдения беспилотных аппаратов // Информация и космос. 2020. № 1. С. 120—126.
8. Бородин Е. Л., Биденко С. И., Черный С. Г., Елизаров Д. А., Шестаков В. М. Идентификация оптических образов объектов в системах наблюдения беспилотных подводных аппаратов // Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 1(94). С. 83—87.

DEVELOPMENT OF A LABORATORY SETUP FOR STUDYING THE PRINCIPLE OF OPERATION OF THE NAVIGATION ECHO SOUNDER JMC-F1000

N. V. Ivanovsky, N. I. Velichko, A. S. Sobolev

Kerch State Maritime Technological University, Republic of Crimea, Kerch, Russia

A. V. Degtyarev

GMZ Ship Management co S.A. Beirut, Beirut, Lebanon

The article discusses the features of the modes of operation of the navigation sounder JMC-F1000, as well as the development of a laboratory installation for the study and acquisition of skills with the sounder. The list of educational and research works which can be carried out by means of laboratory installation is offered.

Keyword: target strength for different materials, calculation of sound speed in water, "White line" mode, use of navigation sonar for navigation.

Bibliography — 8 references.

Received November 11, 2020

УДК 621.3.032.42

DOI: 10.52190/1729-6552_2021_1_53

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАТОРОВ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

А. П. Шовкалюк, канд. техн. наук

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
Москва, Россия

Исследованы основные методы проектирования теплоотводящих радиаторов для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Выявлены противоречия, возникающие при проектировании современных радиаторов. Определено, что главная проблема заключается в необходимости увеличения теплоотводящей поверхности, но при этом важно минимизировать массу. Рассмотрен алгоритм расчета радиаторов, проведена геометрическая оптимизация прототипа при помощи моделирования в SolidWorks FlowSimulation.

Ключевые слова: радиоэлектроника, радиатор, теплообмен, геометрическая конфигурация, оптимизация.

Защита РЭА от тепловых воздействий осуществляется при помощи различных методов и технических систем обеспечения теплового режима. Например, исследования Путятин В. П. [1], Хажмуратова М. А. [2], Роткопа Л. Л. [3] и других направлены на улучшение рационального размещения тепловых источников в РЭА в целях сведения к минимуму рассеиваемой мощности и тепловых сопротивлений от конструктивных единиц в окружающую среду. Этот метод эффективен на стадии проектирования новых радиоэлектронных систем. Однако зачастую их модернизируют путём дополнения новыми компонентами без перестройки всей конструктивной схемы.

Разработке различных теплоотводящих систем для РЭА посвящены многочисленные работы российских и зарубежных авторов (Роткопа Л. Л., Чернышева А. А., Спокойного Ю. Е., Дульнева Г. Н., Ройзена Л. И., Lior Babani, Devdatta P. Kulkarni и других). Анализ литературы показал, что самым распространённым способом является воздушное охлаждение, в процессе которого охлаждение РЭА производится набегающим потоком окружающего воздуха, проходящего через теплообменное устройство (ТУ) типа радиатор, контактирующего с тепловыделяющими поверхностями приборов. Данный способ охлаждения имеет ряд преимуществ, в том числе низкую стоимость, относительно низкий уровень шума, отсутствие трубопроводов и кабелей.

Расчет конструктивных параметров радиаторов производится в каждом случае отдельно [4], но во всех случаях стремятся при минимальных массогабаритных размерах достичь максимального теплоотвода. Задача достижения оптимальных соотношений характеристик радиатора не всегда решается в явном виде, что связано с естественными противоречиями между массой, линейными размерами, аэродинамическим и теплосъёмным показателями. Цель данной работы — методики оптимизации радиаторов для охлаждения радиоэлектроники.

Противоречия при проектировании радиаторов

При неизменных начальных массогабаритных параметрах радиатора существует ограниченное количество вариантов их геометрической конфигурации, соответствующих максимальным требованиям теплосъёма. Например, при увеличении линейного размера теплоотводящего элемента (ТЭ), необходимого для увеличения площади теплообмена, его объем возрастает намного быстрее, чем площадь поверхности, поскольку объем пропорционален кубу линейного размера, а площадь — квадрату (табл. 1).

Таблица 1

Изменение площади поверхности и объема куба с ростом линейного размера

Линейный размер, м	Площадь поверхности, м ²	Объем, м ³	Отношение объема к площади поверхности
1	6,00	1,00	0,17
2	24,00	8,00	0,33
4	96,00	64,00	0,67
8	384,00	512,00	1,33
16	1 536,00	4 096,00	2,67

Шовкалюк Алексей Петрович, доцент кафедры 402.
E-mail: shovalex@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 9 февраля 2021 г.

© Шовкалюк А. П., 2021

С другой стороны, масса тела находится в прямой зависимости от его объёма, т. е. с увеличением линейных размеров радиатора его масса будет расти экспоненциально. Следовательно, данная характеристика будет стремительно ухудшаться.

Противоречие между массогабаритными характеристиками и аэродинамикой термоплат можно пронаблюдать следующим образом. Предположим, что ТЭ радиатора представляют собой призмы с различными основаниями, объём которых вычисляется путём умножения высоты на площадь основания. В этом случае будут иметь значение форма и линейные размеры основания. Если в основании находится квадрат с периметром, равным 4 см, то длина его стороны равна 1 см, площадь 1 см². Если же это круг, длина окружности которого равна 4 см, то периметр равен 4 см, а его площадь равна 1,27 см²

($l = 2\pi R \Rightarrow R = \frac{l}{2\pi} = \frac{4}{2 \cdot 3,14} = 0,64 \text{ см} \Rightarrow S = \pi R^2 = 3,14 \cdot 0,64^2 = 1,27 \text{ см}^2$). Для равностороннего треугольника при периметре 4 см длина стороны равна 1,33 см, а площадь 0,63 см²

($S = \frac{1}{2}ah \Rightarrow h = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}} = 0,94 \Rightarrow S = \frac{1,33 \cdot 0,94}{2} = 0,63 \text{ см}^2$). Поэтому при выборе сечения ТЭ с целью минимизации их массы следует выбирать треугольное сечение основания. Однако это значительно ухудшит аэродинамические показатели радиатора.

Кроме того, важна геометрическая структура радиатора. В работе [5] получены значения теплового сопротивления радиатора в зависимости от плотности расположения ребер. Графически эти результаты представлены на рис. 1.

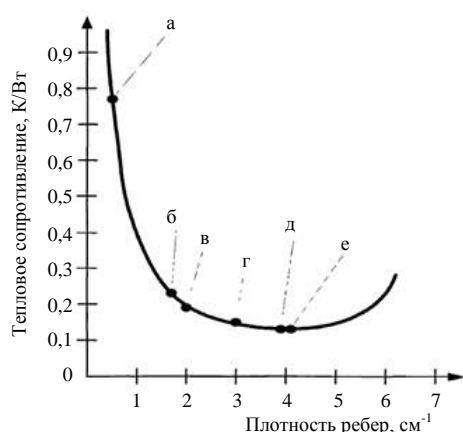


Рис. 1. Зависимость теплового сопротивления от плотности ребер:

а — литье под давлением; б — выдавливание; в — штамповка; г — мех. обработка, гофрирование; д — строгание; е — наборные радиаторы, фольгирование [5]

Видно, что при увеличении плотности ребер растет эффективность, т. е. уменьшается тепловое сопротивление, так как увеличивается площадь. Однако при дальнейшем увеличении плотности ребер кривая вновь идет вверх вследствие ухудшения теплопроводности ребер и увеличения сопротивления воздушному потоку.

Алгоритм расчета радиатора

Анализ основных методов проектирования радиаторов для РЭА [6—10] показал, что выбор конструктивных размеров преимущественно проводится по алгоритму, представленному на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм проектирования радиатора

При расчете по данному алгоритму мощность, рассеиваемая поверхностью ТЭ, определяют по формуле

$$P = k(T - T_c)\xi S, \quad (1)$$

где T — температура рассеивающей тепло поверхности;
 S — площадь поверхности;
 k — коэффициент теплопередачи;
 T_c — средняя температура теплоносителя;
 ξ — коэффициент эффективности ТЭ.

При принудительном воздушном охлаждении за температуру охлаждающего воздуха в формуле (2) принимается средняя в пределах теплоотдающей поверхности температура воздуха [7]:

$$T_B = T_c + P / 2c_p G, \quad (2)$$

где T_c — температура охлаждающего воздуха на входе в радиатор;
 c_p — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;
 G — массовый расход охлаждающего воздуха.

Величина k зависит от интенсивности теплообмена α и термического сопротивления слоя краски или покрытия на поверхности охлаждения $\delta_{\Pi}/\lambda_{\Pi}$:

$$k = 1 / (1 / \alpha + \delta_{\Pi} / \lambda_{\Pi}), \quad (3)$$

где α — учитывает передачу тепла конвекцией и излучением;
 δ_{Π} — толщина слоя покрытия;
 λ_{Π} — коэффициент теплопроводности покрытия.

Коэффициент эффективности ТЭ ξ характеризует температурный перепад по ребру и равен [7]

$$\xi = th(mh) / mh, \quad (4)$$

где $m = \sqrt{\alpha U / \lambda F}$;

U — периметр сечения ТЭ;

λ — коэффициент теплопроводности ТЭ;
 F — площадь поперечного сечения ребра;
 h — высота ТЭ (у ребер круглого сечения $m = \sqrt{4\alpha / \lambda d}$; у ребер прямоугольного сечения, когда длина ребра значительно меньше его толщины, $m = \sqrt{2\alpha / \lambda \delta}$);
 d — диаметр сечения;
 δ — толщина ребра.

Исследование эффективности радиаторов

Расчет радиаторов воздушного охлаждения в целом является трудоемкой задачей вне зависимости от используемых методов. Надежным источником данных о тепловых и аэродинамических характеристиках термоплат является эксперимент. Однако экспериментальная оценка тепловых параметров термоплаты является длительной и дорогостоящей, что обуславливает необходимость создания экспериментальной физической модели и наличие сложной измерительной аппаратуры. Выходом из данной ситуации является использование САПР, реализующих метод конечных элементов.

Для исследования эффективности радиаторов в зависимости от различной геометрической конфигурации при помощи SolidWorks созданы базовые 3D-модели радиаторов с ТЭ в виде круглых и овальных стержней (табл. 2). В качестве прототипа взят радиатор модели SKL Hockey Puck австрийской компании DAU (рис. 3).

Таблица 2

Модельный ряд радиаторов

№ модели	Материал	Тип теплоотводящего элемента	Размерные характеристики ТЭ	Расстояние между ТЭ
1	Al	Круглый штырь (рис. 4)	Диаметр 2,5 мм	10 мм
2	Al	Овальный штырь (рис. 5)	Толщина 2,5 мм	10 мм
3	Al	Круглый штырь	Диаметр 4 мм	10 мм
4	Al	Круглый штырь	Диаметр 2,5 мм	6,85
5	Al	Овальный штырь	Толщина 2,5 мм	6,85



Рис. 3. Радиаторы серии SKL (HockeyPuck)

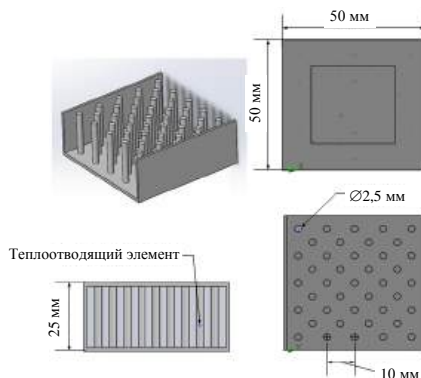


Рис. 4. Модель радиатора № 1

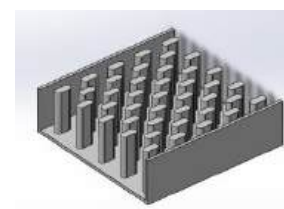


Рис. 5. Модель радиатора № 2

Затем в SolidWorks FlowSimulation было проведено моделирование температурных полей термоплат при двухстороннем нагреве. Для этого были созданы новые модели с двумя источниками тепла мощностью 40 Вт каждая, имитирующие тепловое воздействие от программируемых логических интегральных схем (рис. 6).

Результаты моделирования приведены на рис. 7 и в табл. 3.

Так как все рассматриваемые показатели из табл. 3 несопоставимы, среди каждого показателя выбрано наилучшее значение, которое при-

нято за единицу. Остальные значения представлены относительными величинами, которые отображают степень ухудшения для данного показателя по сравнению с наилучшим (табл. 4). Степень влияния различных показателей при формировании обобщенного критерия учитывается с помощью ранжирования. Для этого в таблицу введен столбец "Ранг". Затем относительные значения показателей поделены на ранг и сложены по столбцам. По наибольшему суммарному коэффициенту выбран эффективный вариант радиатора (табл. 5).

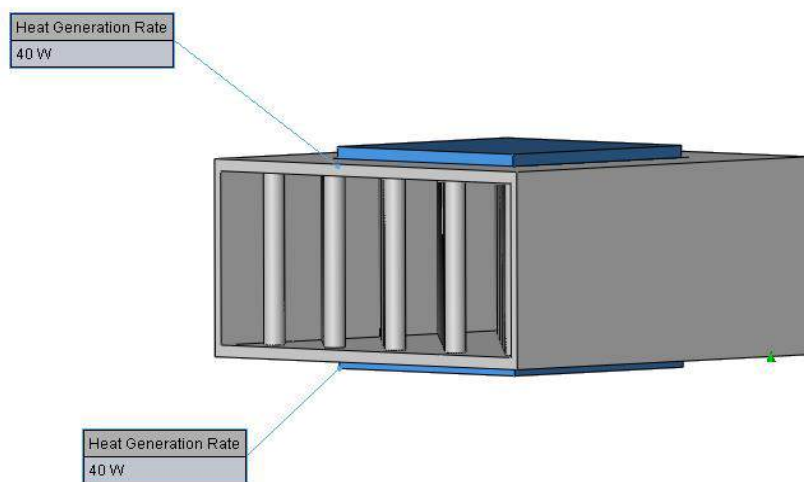


Рис. 6. Модель для расчета температурных полей

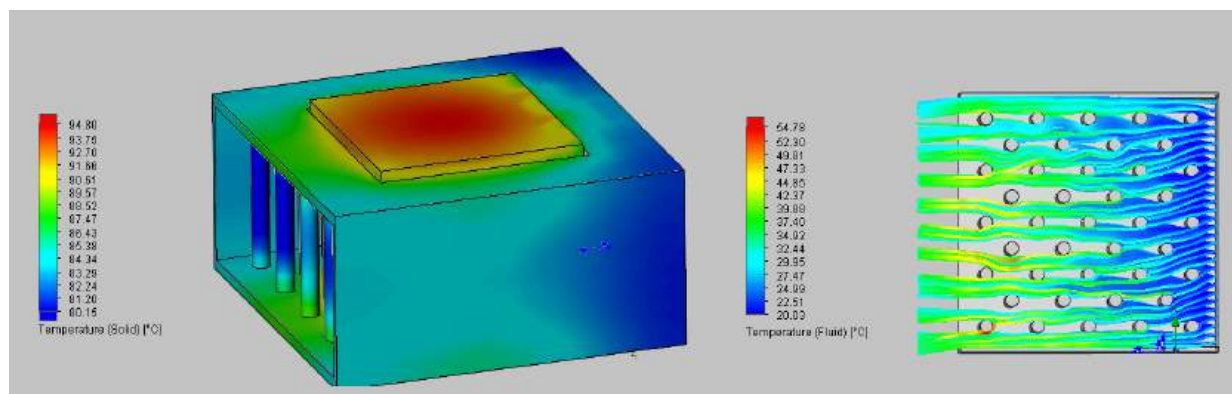


Рис. 7. Температурные поля в радиаторе модели № 1

Расчетные данные (нагрев и продувка термоплат)

Таблица 3

Структура №	Температура в центре микросхемы, °C	Максимальная температура воздушного потока, °C	Аэродинамическое сопротивление, Па	Масса радиатора, кг
1	99	55	89,14	0,02 32
3	87	70	120,83	0,05 51
4	98	67	115,03	0,04 52
5	85	66	126,99	0,03 38
6	86	69	121,02	0,07 64

Таблица 4

Относительные показатели эффективности радиаторов

№ модели	Температура в центре микросхемы	Максимальная температура воздушного потока	Аэродинамическое сопротивление	Масса теплоплат
1	0,85	0,79	0,70	1
3	0,98	1	0,95	0,4
4	0,87	0,96	0,91	0,5
5	1	0,94	1	0,67
6	0,99	0,99	0,96	0,29
Ранг	1	3	4	2

Таблица 5

Расчет показателей эффективности радиаторов

№ модели	Температура в центре микросхемы	Максимальная температура воздушного потока	Аэродинамическое сопротивление	Масса теплоплат	Суммарный коэффициент
1	0,85	0,26	0,18	0,50	1,79
3	0,98	0,33	0,24	0,20	1,75
4	0,87	0,32	0,23	0,25	1,67
5	1,00	0,31	0,25	0,34	1,90
6	0,99	0,33	0,24	0,15	1,71

Таким образом, для увеличения эффективности исследуемого вида радиатора необходимо использовать в качестве ТЭ штыри круглой формы при плотном их расположении.

Выводы

Интерес к проблеме охлаждения радиоэлектронных устройств не снижается, что связано с увеличением энергопотребления сборок РЭА. Исследования показали, что главным требова-

нием, предъявляемым к радиатору, является максимальная площадь теплообменной поверхности при минимальных массогабаритных характеристиках, что при современных методах производства ограничивает возможности оптимизации.

При геометрической оптимизации необходимым условием является сравнение радиаторов в одинаковых внешних условиях и при оптимальных параметрах, т. е. при таких соотношениях толщин ребра, диаметра штыря и шага, которые обеспечивают максимальный теплоотвод.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Путятин В. П.** Методы и алгоритмы рационального размещения дискретных стационарных тепловых источников: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1977. — 24 с.
2. **Хажмуратов М. А.** Оптимизация размещения тепловых источников произвольной формы в прямоугольной области: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1979. — 28 с.
3. **Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е., Гидалевич В. Б., Гун Л. А., Максименко В. Д.** Методика выбора коэффициентов нагрузки радиоэлементов // Вопросы радиоэлектроники. 2012. — 50 с.
4. **Глинский И. А., Зенченко Н. В.** Расчет теплораспределяющего элемента конструкции для мощных СВЧ-транзисторов // Микроэлектроника. 2015. Т. 44. № 4. С. 269—274.
5. **Маниленко И. Н.** Разработка методики проектирования ребристо-пластинчатых радиаторов радиоэлектронных устройств: дисс. ... канд. техн. наук. — Владимир, 2012. — 107 с.
6. **Чернышев А. А., Иванов В. И., Аксенов А. И., Глушкова Д. Н.** Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники. — М.: Энергия, 1980. — 216 с.
7. **Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е.** Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, 1976. — 232 с.
8. **Дульнев Г. Н.** Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре: учебник для вузов по спец. "Конструир. и произв. радиоаппаратуры". — М., 1984. — 247 с.

9. ОСТ5. 8794-88 Радиаторы охлаждения полупроводниковых приборов. Конструкция, размеры и тепловые характеристики. — М., 1988. — 96 с.

10. **Сушко В. Ю.** Тепловая защита электронных устройств при интенсивных термических воздействиях. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. — СПб: 2007. — 16 с.

OPTIMIZATION OF RADIATORS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT

A. P. Shovkaluk

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

The work is devoted to the study of the main methods of designing heat-dissipating radiators for radio electronic equipment (CEA). The first part reveals the contradictions arising in the design of modern radiators. It was determined that the main problem is the need to increase the heat sink surface, but it is important to minimize the mass. In the main part, the algorithm for calculating radiators is considered and geometric optimization of the prototype is carried out using modeling in SolidWorks FlowSimulation.

Keywords: radio electronics, radiator, heat exchange, geometric configuration, optimization.

Bibliography — 10 references.

Received February 9, 2021

Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал / Федеральное государственное унитарное предприятие «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2021. Вып. 1. С. 1—60.

Редактор *О. А. Константинова*

Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 19.03.2021.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,0. Уч.-изд. л. 7,2.

Тираж 250 экз. Заказ 1968.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,

Волоколамское ш., 77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 79379.

**БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2021 г.
на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»**

Наименование издания	Периодичность в год	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	4	1550,00		
Конструкции из композиционных материалов	4	1700,00		
Экология промышленного производства	4	1500,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	4	1750,00		
Вопросы защиты информации	4	1750,00		
<i>В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.</i>				

Поставка журналов подписчикам через издательство осуществляется почтовыми бандеролями с приложением всех необходимых бухгалтерских документов.

Наши реквизиты:

Полное наименование организации: _____

Сокращенное наименование организации: _____

ИНН/КПП _____

ОКПО _____

Расчётный счёт № _____ в _____

к/с _____ БИК _____

Юридический адрес: _____

Почтовый адрес: _____

Контактное лицо _____ тел. _____

E-mail: _____

(Для оформления счёта и бухгалтерских документов просьба заполнить все строчки).

Справочно:

Заполненный бланк-заказ просьба отправить по факсу: 8(495) 491-44-80 или

E-mail: secretariat@ntckompas.ru

Более подробную информацию об изданиях и подписке можно получить по телефону:

8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-20.

E-mail: ivleva@ntckompas.ru

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское шоссе, д.77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».