

Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор

Микрин Е.А. — д.т.н., проф., академик РАН,
ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Афанасьев В.Н. — д.т.н., проф., МИЭМ НИУ ВШЭ
Басараб М.А. — д.ф.-м.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Большаков А.А. — д.т.н., проф., СПбГИ (ТУ)
Буддакова Т.И. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Ван Мэйлин — д.т.н., проф., Пекинский
политехн. ун-т (КНР)
Зинченко Л.А. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Кларк Р. — д.т.н., проф., КИУ (г. Ворвик,
Великобритания)
Криони Н.К. — д.т.н., проф., УГАТУ (г. Уфа)
Кузнецов А.Е. — д.т.н., проф., РГРТУ (г. Рязань)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. — д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. — д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП
им. Н.А. Пилюгина»
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Проталинский О.М. — д.т.н., проф., НИУ МЭИ
Путилов В.Н. — ООО «Изд-во "Инновационное
машиностроение"» (заместитель
главного редактора)
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во
"Инновационное машиностроение"»
Ся Юаньцин — д.т.н., проф., Пекинский
политехн. ун-т (КНР)
Фу Ли — д.т.н., проф., Ин-т Бейхан (КНР)
Фёдоров И.Б. — д.т.н., проф., академик РАН,
президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т
науки и технологии (КНР)
Чистякова Т.Б. — д.т.н., проф., СПбГИ (ТУ)
Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-кор. РАН,
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат.
центр им. В.П. Чкалова

Редакторы — **Мырина И.Н., Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

Адрес редакции:

107076, Москва, Колодезный пер., д. 2а, стр. 2.
Тел.: 8 (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Учредитель:

ООО «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"»

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре 29 мая 2014 г.
(ПИ № ФС77-58102), входит в перечень утверждённых ВАК
при Минобрнауки России изданий для публикации трудов
соискателей учёных степеней, а также в систему Россий-
ского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Издаётся с 1947 г.

Том 74

2
2020

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Шалумов А.С., Шалумов М.А., Тихомиров М.В. АСОНИКА-УМ:
управление моделированием электроники на внешние воз-
действующие факторы при проектировании 51

Брокеров И.А. Сравнительный анализ корреляционных ме-
тодов определения энергетических характеристик природ-
ного газа 57

Конopleв В.И., Анцев В.Ю., Воробьев А.В. Крюковая под-
веска с устройством для предотвращения падения груза при
обрыве каната в полиспасте 61

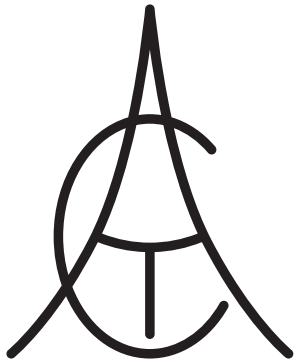
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Столярчук В.А. Автоматизированная система поддержки
научных исследований 64

Неусыпин К.А. Способы определения качественных харак-
теристик моделей динамических систем 71

Чжоу Ж., Рязанова Н.Ю., Неусыпин К.А. Алгоритм распоз-
нания цветовых сигналов при посадке беспилотного лета-
тельного аппарата на авианосец в автономном режиме . . . 78

Ермаков Р.Н. Распознавание сетевых протоколов и прило-
жений прикладного уровня с применением методов машин-
ного обучения и алгоритмов нечёткой логики в системах ана-
лиза трафика 84



Automation. Modern Technologies

MONTHLY INTERBRANCH SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Chief in Editor

Mikrin E.A. – dr.en.s., prof., academician of the RAS,
RSC «Energy» behalf of S.P. Korolev

EDITORIAL COUNCIL:

Afanasyev V.N. – dr.en.s., prof., MIEM NRU HSE

Basarab M.A. – dr.ph.-m.s., prof., MSTU behalf
of N.E. Bauman

Bolshakov A.A. – dr.en.s., prof., SPbSIT (TU)

Buldakova T.I. – dr.en.s., prof., MSTU behalf
of N.E. Bauman

Wang Meiling – Ph.D., prof., Beijing Ins. of Technology,
P.R. China

Zinchenko L.A. – dr.en.s., prof., MSTU behalf
of N.E. Bauman

Clark R. – Ph.D., prof., EMB of Warwick Un., UK

Krioni N.K. – dr.en.s., prof., USATU, Ufa

Kuznetsov A.E. – dr.en.s., prof., RSREU, Ryazan

Maltseva S.V. – dr.en.s., prof., NRU HSE

Mikaeva S.A. – dr.en.s., prof., MSUPI

Neusypin K.A. – dr.en.s., prof., MSTU behalf
of N.E. Bauman

Nefedov E.I. – dr.ph.-m.s., IRE RAS

Nikiforov V.M. – dr.en.s., prof., FSUE «NPCAP
behalf of N.A. Pilyugin»

Proletarskiy A.V. – dr.en.s., prof., MSTU behalf
of N.E. Bauman

Protalinsky O.M. – dr.en.s., prof., NRU MPEI

Putilov V.N. – LLC «Innovative Mashinostroenie»
Publishers» (deputy chief editor)

Rumyantseva O.N. – General Director of LLC «Innovative
Mashinostroenie» Publishers»

Xia Yuantsin – Ph.D., prof., Beijing Ins. of Technology,
P.R. China

Fu Li – Ph.D., prof., Beikhan Un., P.R. China

Fedorov I.B. – dr.en.s., prof., academician RAS, President
of MSTU behalf of N.E. Bauman

He Yung – Ph.D., prof., Nanjing Un. of Science
and Technology, P.R. China

Chistyakova T.B. – dr.en.s., prof., SPbSIT (TU)

Shakhnov V.A. – dr.en.s., prof., corr. member of RAS,
MSTU behalf of N.E. Bauman

Shibanov G.P. – dr.en.s., prof., State Flight Test Center
behalf of V.P. Chkalov

Editors — **Mymrina I.N., Selikhova E.A.**

Computer layout — **Konova E.V.**

Editorial address:

107076, Moscow, Kolodezny lane – 2a, build. 2

Tel.: +7 (499) 268-41-77.

E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;

http://www.mashin.ru

Founder:

LLC «INNOVATIVE MASHINOSTROENIE» PUBLISHERS»

The journal was registered in the Roskomnadzor on May 29, 2014 (PI No. FS77-58102), it is included in the list of publications approved by the Higher Attestation Commission (VAK) of the Russian Ministry of education and science for publication of the works of applicants for academic degrees and the system of the Russian index scientific citation (RINC)

It is published since 1947

Volume 74 $\frac{2}{2020}$

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Shalumov A.S., Shalumov M.A., Tikhomirov M.V. ASONIKA-UM:
management of electronics modeling on external influencing factors
during design 51

Brokarev I.A. Comparative analysis of correlation methods for determining the energy characteristics of natural gas 57

Konoplev V.I., Antsev V.Yu., Vorobyov A.V. Hook suspension with a device to prevent the fall of the load when the cable breaks in the polyspast 61

MODERN TECHNOLOGIES

Stolyarchuk V.A. Automatic support system of the scientific research 64

Neusypin K.A. Methods for determining the qualitative characteristics of dynamic systems models 71

Chzhou Zh., Ryazanova N.Yu., Neusypin K.A. The algorithm of the color signal recognition at landing an unmanned aerial vehicle on an aircraft carrier in autonomous mode 78

Ermakov R.N. Recognition of network reports and application level enclosure using machine learning methods and fuzzy logic algorithms in traffic analysis systems 84



УДК 621.396.6.019.3

А.С. Шалумов, д-р техн. наук, проф., **М.А. Шалумов**, канд. техн. наук,
М.В. Тихомиров, канд. техн. наук
(ООО «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА»)
als@asonika-online.ru

АСОНИКА-УМ: УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Приведены сведения о АСОНИКА-УМ — подсистеме управления моделированием радиоэлектронных средств, предназначенной для сбора в интегрированной базе данных инженерных данных, возникающих в процессе проектирования, производства и эксплуатации радиоэлектронных средств, а также для обеспечения совместного использования этих данных.

Ключевые слова: радиоэлектронные средства; моделирование; база данных, PDM-система.

Information about ASONIKA-UM are adduced: a subsystem for controlling the modeling of radio-electronic equipment, assigned to collect engineering data in an integrated database that occurs during the design, manufacture and operation of electronic equipment, as well as to ensure the joint usage of these data.

Keywords: radio-electronic equipment; modeling; database; PDM system.

АСОНИКА-УМ — подсистема управления моделированием радиоэлектронных средств (РЭС). Она предназначена для сбора в интегрированной базе данных (БД) инженерных данных, возникающих в процессе проектирования, производства и эксплуатации РЭС, а также для обеспечения совместного использования этих данных [1–4].

АСОНИКА-УМ обеспечивает формирование комплексного критерия оценки соответствия полученного технического решения требованиям технического задания на проектирование. Задача управления моделированием с помощью АСОНИКА-УМ состоит в том, чтобы на основе этого критерия и ряда прототипов изделий осуществить организацию управления получением нового технического решения.

Интеграция АСОНИКА-УМ с внешними приложениями обеспечивает хранение их проектов в БД АСОНИКА-УМ, контекстный запуск соответствующего приложения, целостность проектной информации.

АСОНИКА-УМ имеет механизм встраивания plug-ins-модулей сторонних разработчиков в свой интерфейс. Встраивание основано на использовании шаблона нового plug-in-модуля и реализации механизма его использования. Для обеспечения использования механизмов АСОНИКА-УМ при создании внеш-

них и встраиваемых приложений разработана широкая номенклатура API-функций ActiveX.

Ядро АСОНИКА-УМ, обеспечивающее реализацию интегрированной базы данных, представляет собой PDM-систему, реализующую следующую функциональность:

- взаимодействие с другими автоматизированными системами;
- управление различными нормативно-справочными разделами БД, системами классификации и перечнями предметов;
- управление версиями изделий;
- управление вариантами состава изделия;
- управление конфигурацией изделия;
- управление характеристиками объектов БД;
- хранение различных документов (комплектов документов);
- управление изменениями;
- регистрация статусов (утверждений) документов и других информационных объектов;
- ведение организационной структуры и управление ролями сотрудников;
- управление технологическими данными;
- управление потоками работ (WorkFlow Management);
- управление описанием экземпляров и партий изделий;
- поиск объектов БД по различным критериям;

управление разграничением доступа к объектам БД;

генерация отчётов.

В качестве основы модели данных, обеспечивающей представление самых различных данных об изделии, выбран международный CALS-стандарт — ISO 10303 — STEP (ГОСТ Р ИСО 10303). Стандарт регламентирует логическую структуру БД, номенклатуру информационных объектов, хранимых в БД, их атрибуты и связи.

БД АСОНИКА-УМ реализована в системе управления базами данных (СУБД) Microsoft SQL Server 2000, обеспечивающей хорошую масштабируемость и высокую устойчивость к различным сбоям.

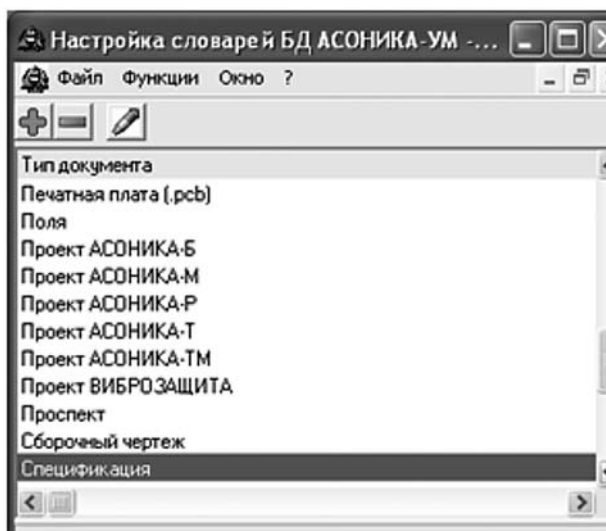


Рис. 1. Проекты моделирующих подсистем в перечне типов документов

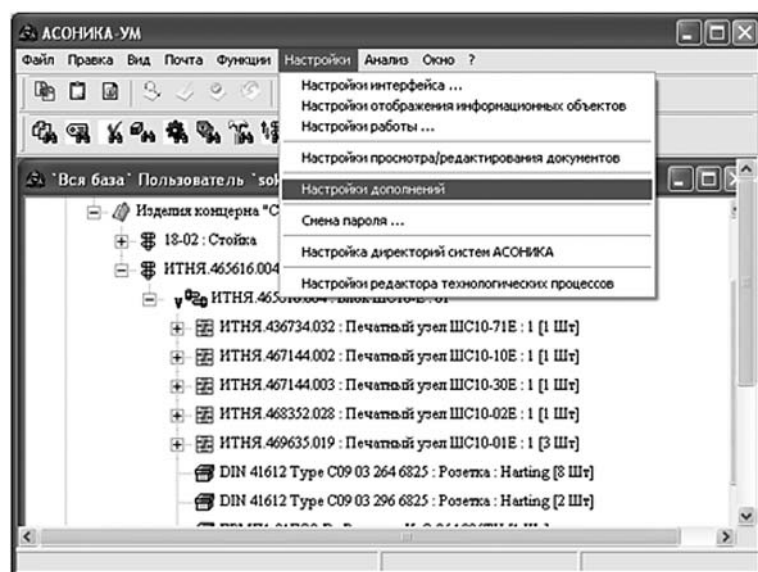


Рис. 2. Меню «Настройки / Настройки дополнений»

АСОНИКА-УМ может быть инсталлирована как в десктопном варианте, так и в сетевом. Вариант инсталляции основан на инсталляции десктопного или сетевого (в том числе корпоративного уровня) экземпляра сервера БД СУБД Microsoft SQL Server 2000.

Для обеспечения эффективного распределения вычислительной нагрузки при одновременной работе большого числа пользователей и низких требований к программно-аппаратному оснащению пользовательских мест АСОНИКА-УМ имеет двухуровневую сетевую архитектуру, состоящую из сетевого и клиентского приложений.

Сетевое приложение запускается автоматически при старте операционной системы и представляет собой сервер базы данных АСОНИКА-УМ под управлением СУБД Microsoft SQL Server 2000 и выше.

Основу клиентского приложения, обеспечивающего интерфейс администратора АСОНИКА-УМ со справочными таблицами (словарями) БД и интерфейс пользователей с составом изделий БД АСОНИКА-УМ, представляют соответственно модуль настройки словарей БД и администрирования пользователей и модуль работы с составом изделий АСОНИКА-УМ.

АСОНИКА-УМ интегрирована с моделирующими подсистемами АСОНИКА-М, АСОНИКА-Т, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-В, АСОНИКА-Б, а также с САД-системами КОМПАС и Solid Works.

Интеграция позволяет сохранять проекты моделирующих подсистем в АСОНИКА-УМ в виде predetermined типов документов: «Проект АСОНИКА-М», «Проект АСОНИКА-Т», «Проект АСОНИКА-ТМ», «Проект АСОНИКА-Р», «Проект Виброзащита», «Проект АСОНИКА-Б» (рис. 1).

Интеграция АСОНИКА-УМ с моделирующими подсистемами возможна, если в настройках дополнений АСОНИКА-УМ добавить библиотеку «ASONIKA.dll». При добавлении библиотеки типы документов, соответствующие проектам моделирующих подсистем системы АСОНИКА, создаются в БД АСОНИКА-УМ автоматически.

Для добавления в перечень доступных дополнений библиотеки «ASONIKA.dll» в модуле создания электронных моделей изделий («АСОНИКА-УМ клиент») надо выбрать пункты меню «Настройки /

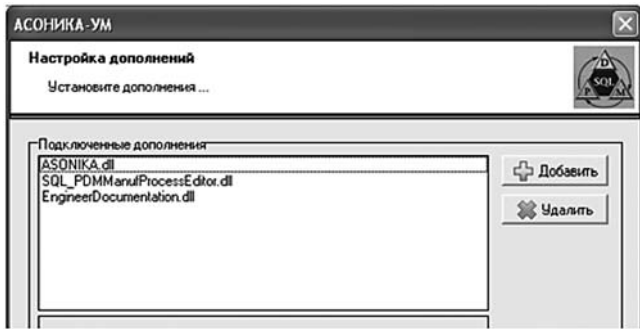


Рис. 3. Вид дополнений, подключённых к подсистеме АСОНИКА-УМ

Настройки дополнений» (рис. 2). В появившемся при этом окне «Настройка дополнений» надо указать место расположения библиотеки «ASONIKA.dll». Она находится в директории инсталляции АСОНИКА-УМ. В результате в списке подключённых дополнений появится «ASONIKA.dll» (рис. 3).

Указание директорий размещения моделирующих подсистем осуществляется из пункта меню «Настройки / Настройка директорий систем АСОНИКА» (см. рис. 2). В результате появится окно «Настройка директорий» (рис. 4).

Для указания или смены директорий размещения необходимо левой кнопкой мыши (ЛКМ) установить курсор в строку соответствующей подсистемы. В этой строке появится кнопка **...**, нажатием которой открывается доступ к окну «Обзор папок».

Проект АСОНИКА-М состоит из главного файла проекта с расширением «.gea», например «shs10e.gea», и одноимённой директории с дополнительными файлами, как показано на рис. 5.

Для сохранения проекта АСОНИКА-М в БД АСОНИКА-УМ следует установить ЛКМ курсор на версии изделия, к расчёту которого относится проект, правой кнопкой мыши (ПКМ) вызвать контекстное меню и выбрать пункты «Создать / Создать связанный документ» (рис. 6). При этом после указания обозначения, наименования и типа документа, в данном

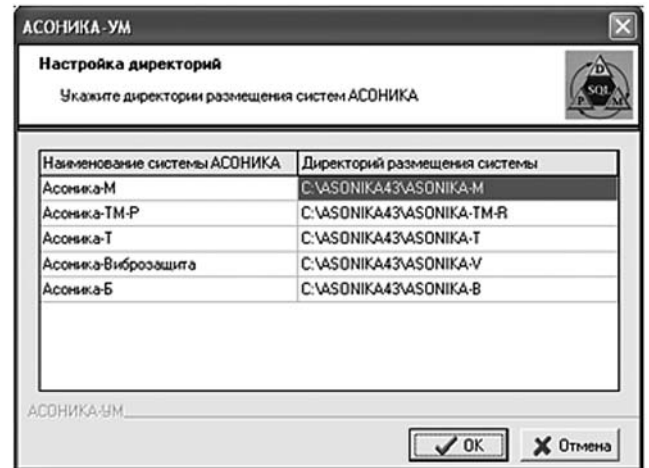


Рис. 4. Окно настройки директорий размещения моделирующих подсистем АСОНИКА

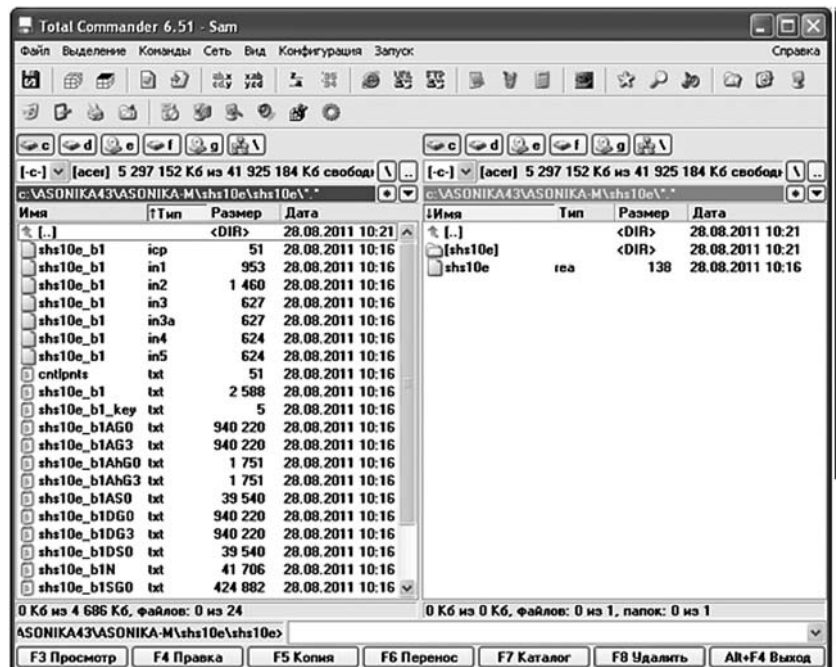


Рис. 5. Состав проекта АСОНИКА-М

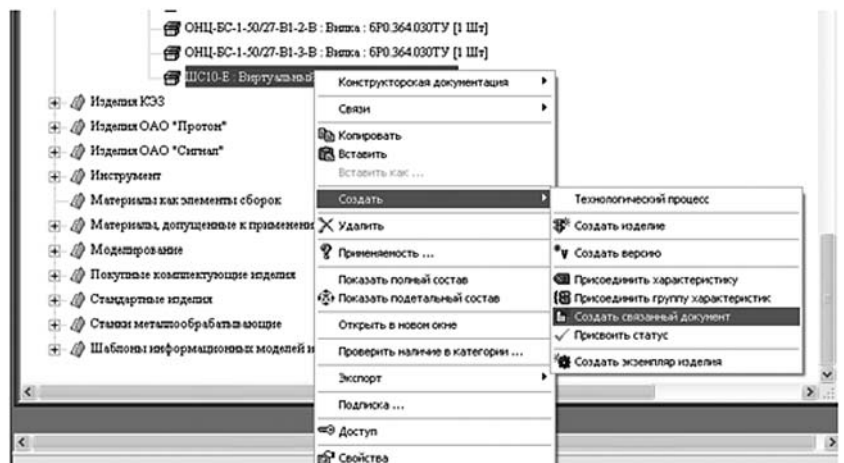


Рис. 6. Сохранение проекта АСОНИКА-М в БД АСОНИКА-УМ

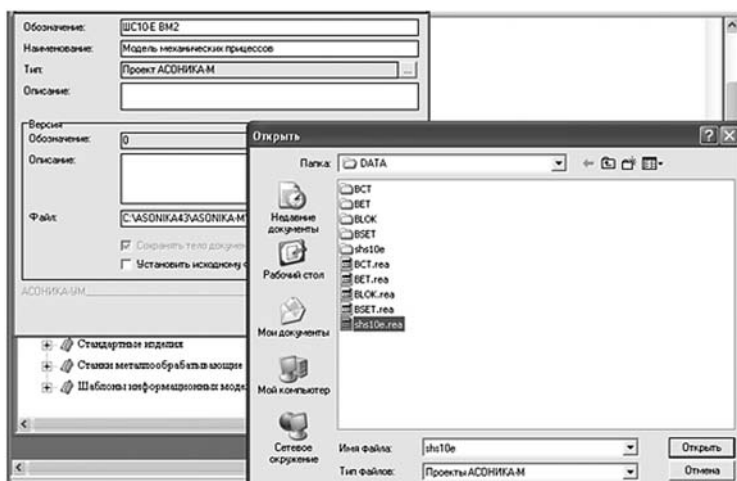


Рис. 7. Выбор проекта АСОНИКА-М по главному файлу

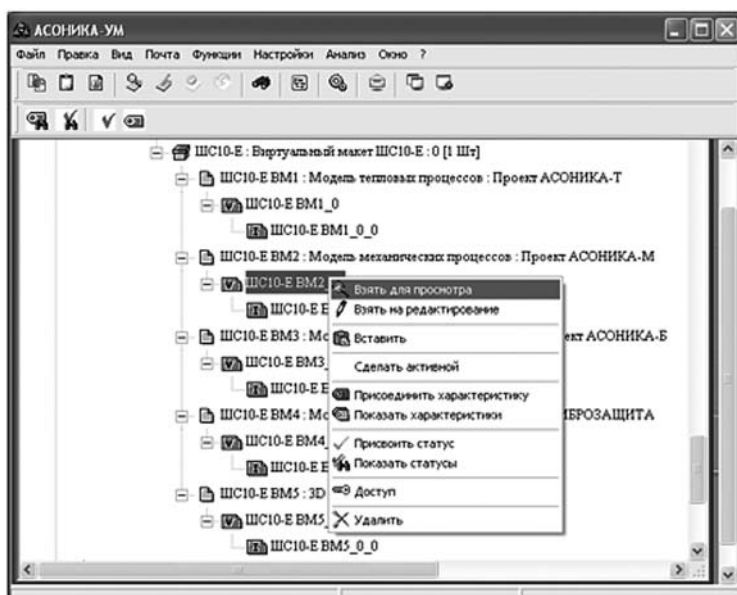


Рис. 8. Взятие проекта расчёта для просмотра

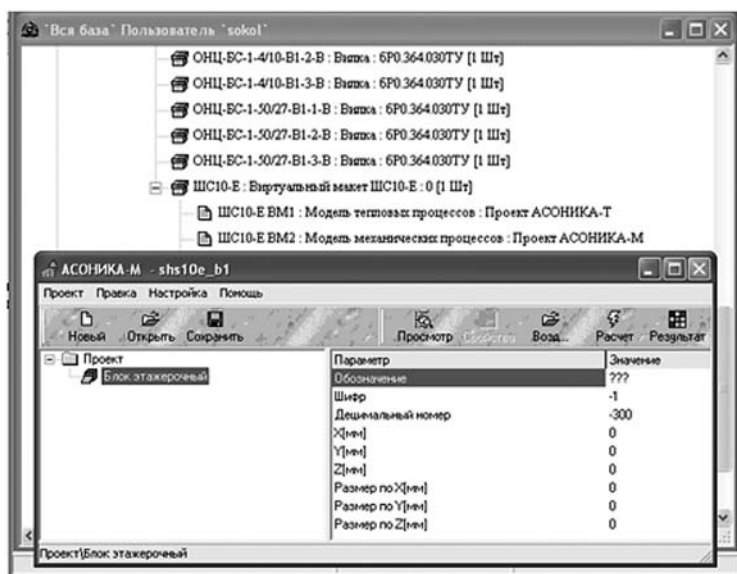


Рис. 9. Автоматическая выгрузка проекта и запуск АСОНИКА-М

случае «АСОНИКА-М», АСОНИКА-УМ будет предлагать для выбора только главные файлы проектов подсистемы АСОНИКА-М (рис. 7).

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-М» АСОНИКА-УМ архивирует все файлы проекта и прикрепит его к указанному изделию, причём созданный документ будет иметь свои версию и итерацию . Перечень прикрепленных к изделию документов станет доступным, если ЛКМ выделить это изделие и на панели инструментов нажать кнопку . Версия и итерация документа станут доступными, если ЛКМ выделить документ и на панели инструментов нажать кнопку .

Для взятия проекта расчёта для просмотра или редактирования необходимо ЛКМ выделить в дереве объектов соответствующий документ или его версию, ПКМ вызвать контекстное меню и ЛКМ выбрать соответствующую команду (рис. 8). После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы активной итерации версии проекта и запустит АСОНИКА-М с соответствующим проектом (рис. 9).

При взятии документа на редактирование иконка его представления в дереве объектов изменится на . Это означает, что он не доступен для редактирования другим пользователям. При завершении редактирования проекта он сохранится в новой итерации (рис. 10). Новая итерация автоматически становится активной. Для смены активной итерации необходимо ЛКМ выделить нужную итерацию, ПКМ вызвать контекстное меню и выбрать команду «Сделать активной».

Выйти из режима редактирования без создания новой итерации можно, выбрав в контекстном меню команду «Отменить редактирование».

Проект АСОНИКА-Т состоит из главного файла проекта с расширением «.dat», например «shs10e.dat», и группы дополнительных файлов. При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Т» АСОНИКА-УМ архиви-

рует все файлы проекта и прикрепит его к указанному изделию. После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит АСОНИКА-Т с соответствующим проектом (рис. 11).

Проект АСОНИКА-ТМ состоит из главного файла проекта с расширением «.рса», например «shs10-71e.psa», и одноимённой директории с дополнительными файлами. При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-ТМ» АСОНИКА-УМ архивирует все файлы проекта и прикрепит его к указанному изделию. После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит АСОНИКА-ТМ с соответствующим проектом (рис. 12).

Проект АСОНИКА-Р состоит из одного файла проекта с расширением «.aem», например «shs10-71e.aem». При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Р» АСОНИКА-УМ архивирует файл проекта и прикрепит его к указанному изделию. После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файл проекта и запустит АСОНИКА-Р с соответствующим проектом (рис. 13).

Проект АСОНИКА-В состоит из одного файла проекта с расширением «.asvr», например «shs10-e.asvr». При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-В» АСОНИКА-УМ архивирует файл проекта и прикрепит его к указанному изделию. После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файл проекта и запустит АСОНИКА-В с соответствующим проектом (рис. 14).

Проект АСОНИКА-Б состоит из главного файла проекта с расширением «.akp», например «shs10e.akp», и дополнительного файла.

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Б» АСОНИКА-УМ архивирует файлы проекта и прикрепит

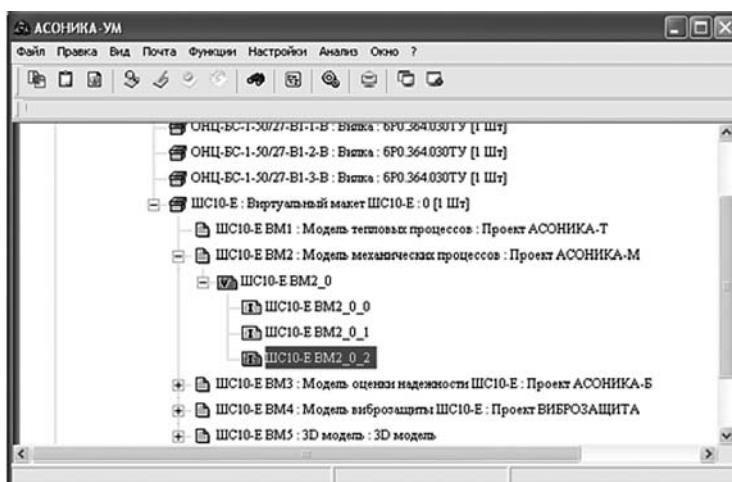


Рис. 10. Появление новой итерации проекта при завершении его редактирования

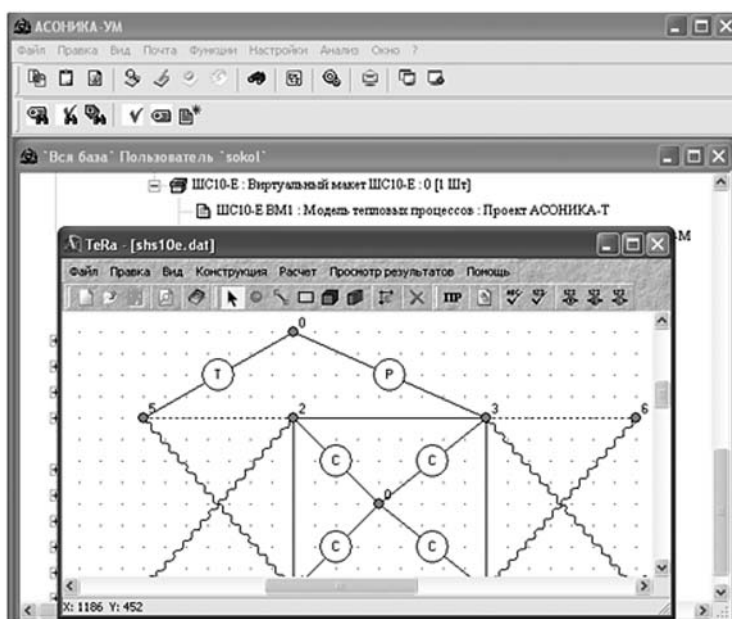


Рис. 11. Автоматическая выгрузка проекта и запуск АСОНИКА-Т

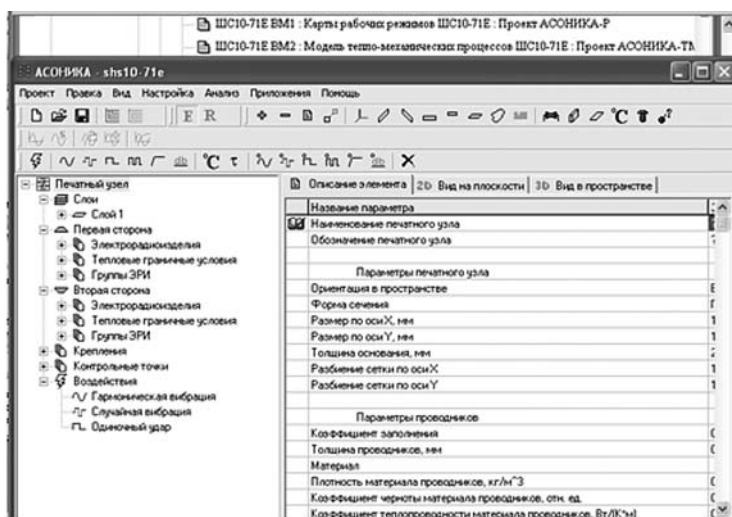


Рис. 12. Автоматическая выгрузка проекта и запуск подсистемы АСОНИКА-ТМ

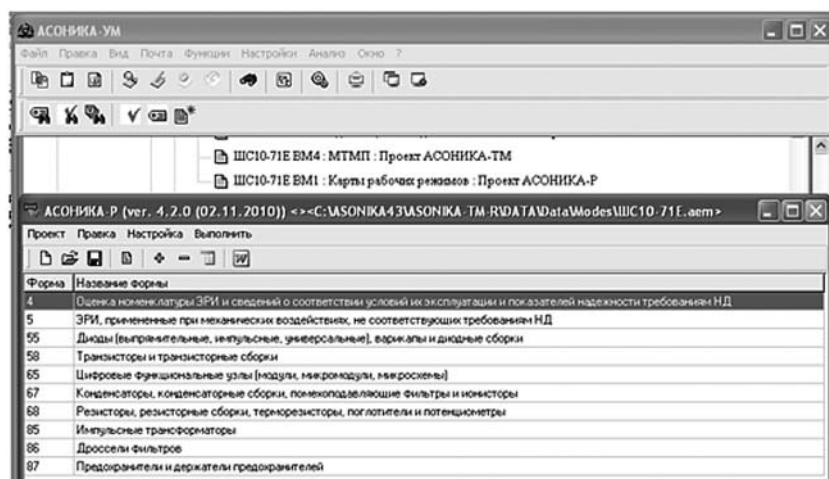


Рис. 13. Автоматическая выгрузка проекта и запуск АСОНИКА-Р

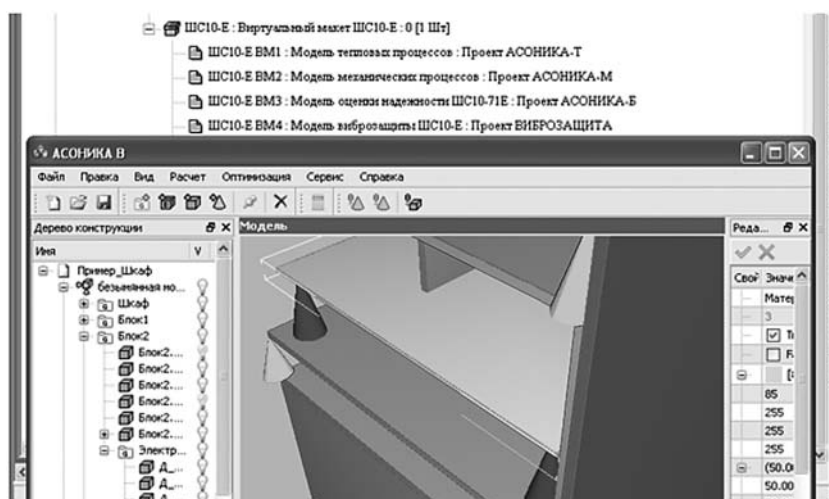


Рис. 14. Автоматическая выгрузка проекта и запуск АСОНИКА-В

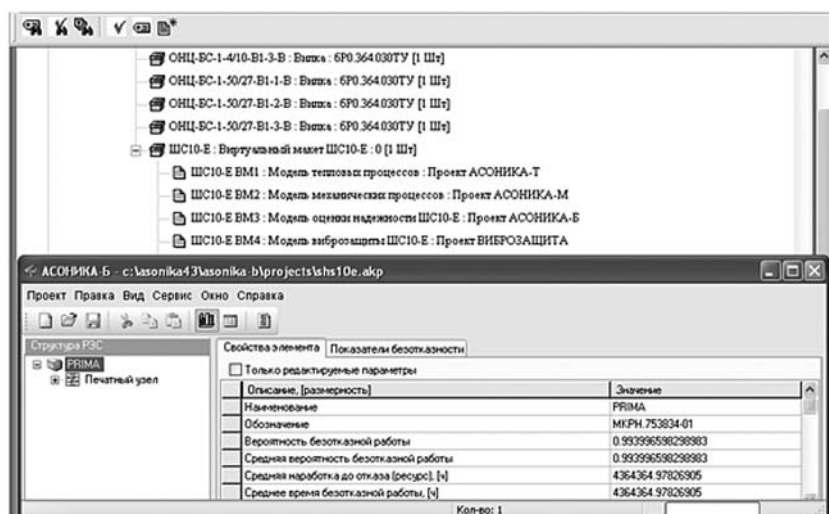


Рис. 15. Автоматическая выгрузка проекта и запуск АСОНИКА-Б

его к указанному изделию. После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит АСОНИКА-Б с соответствующим проектом (рис. 15).

Библиографические ссылки

1. Шалумов А.С., Шалумов М.А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. 422 с.

2. Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.

3. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учётом внешних воздействий / А.С. Шалумов, Ю.Н. Кофанов, С.У. Увайсов, М.А. Шалумов и др.; под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

4. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий / А.С. Шалумов, Ю.Н. Кофанов, Н.В. Малютин и др.; под ред. Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова. М.: Энергоатомиздат, 2007. 368 с.

Ссылка для цитирования

Шалумов А.С., Шалумов М.А., Тигомиров М.В. АСОНИКА-УМ: управление моделированием электроники на внешние воздействующие факторы при проектировании // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 51—56.

УДК 519.6

И.А. Брокарев

(Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, г. Москва)

brokarev.i@gubkin.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНОГО ГАЗА

Проведён сравнительный анализ корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики газовой смеси и предложенного метода определения характеристик природного газа по компонентному составу, а также указаны преимущества предложенного метода. Оценены точностные характеристики обоих методов и сделаны выводы об их применимости.

Ключевые слова: природный газ; анализ; компонентный состав; статистическая модель; нейросетевая модель; теплотворная способность.

A comparative analysis of the correlation method for determining the specific energy characteristics of the gas mixture and the proposed method for determining the characteristics of natural gas by the component composition is carried out. The advantages of the proposed method are indicated. The accuracy characteristics of both methods are estimated. Conclusions on their applicability are drawn.

Keywords: natural gas; analysis; component composition; statistical model; neural network model; calorific value.

Введение. При оценке качества природного газа должны быть известны его энергетические характеристики: низшая теплотворная способность, высшая теплотворная способность, число Воббе, метановое число, относительная плотность и др. Данные энергетические характеристики рассчитываются с использованием физико-химических свойств природного газа, основным из которых является его компонентный состав. Для определения компонентного состава природного газа наиболее широко применяется метод газовой хроматографии. Однако данный метод имеет существенные эксплуатационные недостатки, в частности возникают проблемы определения компонентного состава в масштабе реального времени. В связи с этим всё большее распространение получают корреляционные методы [1, 2], позволяющие определять требуемые параметры природного газа с помощью статистической модели. В большинстве таких методов определяемым выходным параметром является непосредственно энергетическая характеристика газа. При применении данных корреляционных методов возможна некорректная работа модели при совпадении свойств разных газовых смесей, что продемонстрировано ниже на примере псевдогазовых смесей [3]. Кроме того, применимость такого корреляционного метода сильно ограничена и снижается количество полезной информации, которое можно получить из входных данных.

В данной статье рассматривается корреляционный метод, основанный на анализе компонентного состава газовой смеси с дальнейшим определением энергетических параметров. Также проводится сравнение данного метода и наиболее распространённого корреляционного метода определения конкретного энергетического параметра газа.

Характерные особенности исследуемых корреляционных методов. Корреляционные методы основаны на измерении входных физических параметров газовых смесей. По этим параметрам с помощью разработанной модели (в большинстве случаев статистической) делают вывод о выходных параметрах газовой смеси. В настоящее время разработано множество различных корреляционных методов, которые по измерениям определённых физико-химических параметров природного газа находят его требуемые энергетические характеристики [4], позволяющие оценить стоимостные показатели. На рис. 1 показана схема корреляционного

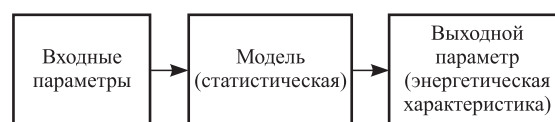


Рис. 1. Схема корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики природного газа

Таблица 1

Энергетические характеристики газовых смесей с различным компонентным составом

Характеристика газовой смеси	Исходная газовая смесь	Четырёхкомпонентный псевдогаз	Пятикомпонентный псевдогаз
Относительная плотность	0,737	0,737	0,738
Низшая теплотворная способность, МДж/м ³	38,781	38,787	38,795
Высшая теплотворная способность, МДж/м ³	35,012	35,019	35,026
Число Воббе, МДж/м ³	49,604	49,613	49,622
Компонентный состав, %	Метан — 94 Азот — 1 Диоксид углерода — 1 Этан — 1 Пропан — 1 Бутан — 1 Изобутан — 1	Метан — 93,5 Азот — 1 Диоксид углерода — 1 Пропан — 4,5	Метан — 92 Азот — 1 Диоксид углерода — 1 Этан — 3 Пропан — 3

метода определения конкретной энергетической характеристики природного газа.

Возможна ситуация, когда выходные параметры (энергетические характеристики) для различных газовых смесей близки по значению, поэтому результат будет содержать ошибку. При применении корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики в случае исследования большого числа разнообразных газовых смесей могут возникнуть неразрешимые проблемы. В табл. 1 показана газовая смесь с известным компонентным составом (исходная) и эквивалентные ей четырёх- и пятикомпонентные псевдогазовые смеси. Энергетические характеристики этих смесей (относительная плотность, низшая теплотворная способность, высшая теплотворная способность, число Воббе) незначительно различаются.

Корреляционный метод определения конкретной энергетической характеристики природного газа применяют в некоторых частных задачах контроля его качества, если не требуется большой объём информации и важно упростить процесс обработки данных. В итоге данный вид корреляционных методов ограничен по диапазону решаемых задач и не использует весь информационный потенциал доступных входных данных.

В предлагаемом корреляционном методе определения энергетической характеристики природного газа по компонентному составу (рис. 2) указанные недостатки метода определения конкретной энергетической характеристики природного газа отсутствуют.



Рис. 2. Схема корреляционного метода определения энергетических характеристик по компонентному составу

В предлагаемом методе определяется компонентный состав, по которому рассчитываются требуемые энергетические характеристики исследуемого газа.

Хотя число этапов расчёта с помощью предлагаемого метода увеличивается, время получения окончательных результатов для двух рассматриваемых корреляционных методов соизмеримо. Концепция предлагаемого метода подразумевает снижение точности определения требуемых параметров. Однако в дальнейшем будет показано, что снижение точности из-за увеличения числа этапов расчёта не является критичным для решения задач контроля качества природного газа.

Реализация исследуемых корреляционных методов. Для сравнения корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики природного газа и корреляционного метода определения энергетических характеристик по компонентному составу исследуется работа двух нейросетевых моделей, используемых в качестве статистических моделей. В их формировании лежат основные принципы функционирования рас-

сма­три­вае­мых ме­то­дов. Эта­пы фор­ми­ро­ва­ния мо­де­лей: вы­бор дан­ных для обу­че­ния и те­сти­ро­ва­ния мо­де­ли, ме­то­да обу­че­ния мо­де­ли, а так­же оце­нки то­че­но­сти ра­бо­ты ста­ти­сти­че­ской мо­де­ли бы­ли оди­на­ко­вы­ми для обо­их рас­сма­три­вае­мых ме­то­дов. Вход­ны­ми па­ра­ме­тра­ми для ста­ти­сти­че­ских мо­де­лей, ис­поль­зуе­мых в ме­то­дах, яв­ля­лись вы­бран­ные фи­зи­че­ские па­ра­ме­тры при­род­но­го га­за: ско­рость зву­ка, те­пло­про­вод­ность и кон­цен­тра­ция ди­окси­да уг­ле­ро­да. Дан­ные па­ра­ме­тры бы­ли вы­браны при раз­ра­бот­ке ме­то­да опре­де­ле­ния свой­ств и со­ста­ва при­род­но­го га­за по ре­зуль­та­там про­ведённого кор­ре­ля­ци­он­но­го ана­ли­за [2, 5]. Опре­де­ляе­мы­ми па­ра­ме­тра­ми для обо­их ме­то­дов бы­ли вы­браны низ­шая те­пло­тво­р­ная спо­соб­ность, выс­шая те­пло­тво­р­ная спо­соб­ность и чис­ло Воб­бе в си­лу то­го, что дан­ные па­ра­ме­тры яв­ля­ются вы­ход­ны­ми во мно­гих раз­ра­ба­ты­вае­мых кор­ре­ля­ци­он­ных ме­то­дах, а так­же ис­поль­зу­ются при рас­чё­те стои­мо­ст­ных ха­рак­те­ри­стик при­род­но­го га­за. Стоит от­ме­тить, что для кор­ре­ля­ци­он­но­го ме­то­да опре­де­ле­ния кон­крет­ной энер­ге­ти­че­ской ха­рак­те­ри­сти­ки га­за для неё не­об­хо­ди­мо раз­ра­ба­тать свою мо­де­ль, что так­же яв­ля­ется не­до­стат­ком рас­сма­три­вае­мо­го кор­ре­ля­ци­он­но­го ме­то­да. Вы­ход­ны­ми па­ра­ме­тра­ми для ста­ти­сти­че­ских мо­де­лей яв­ля­лись не­по­сред­ствен­но тре­буе­мая энер­ге­ти­че­ская ха­рак­те­ри­сти­ка для кор­ре­ля­ци­он­но­го ме­то­да опре­де­ле­ния кон­крет­ной энер­ге­ти­че­ской ха­рак­те­ри­сти­ки и кон­цен­тра­ции ком­по­нент­но­го псев­до­га­за для кор­ре­ля­ци­он­но­го ме­то­да опре­де­ле­ния энер­ге­ти­че­ских ха­рак­те­ри­стик по ком­по­нент­но­му со­ста­ву. Сле­ду­ет так­же от­ме­тить, что для пред­ла­гае­мо­го ме­то­да кон­цен­тра­ция ди­окси­да уг­ле­ро­да яв­ля­ется вход­ным и вы­ход­ным па­ра­ме­тра­ми од­но­вре­мен­но. В ка­че­стве ар­хи­тек­ту­ры ис­поль­зуе­мой ста­ти­сти­че­ской мо­де­ли бы­ла вы­бран­на ре­кур­рент­ная ней­рон­ная сеть (РНС) с од­ним скры­тым сло­ем. Чис­ло ней­ро­нов во вход­ном сло­е равно трёх — по чис­лу вход­ных фи­зи­че­ских па­ра­ме­тров. Чис­ло ней­ро­нов в вы­ход­ном сло­е равно од­но­му для ме­то­да пря­мо­го опре­де­ле­ния тре­буе­мо­го па­ра­ме­тра и трёх для пред­ла­гае­мо­го ме­то­да — по чис­лу вы­ход­ных кон­цен­тра­ций ком­по­нент­но­го псев­до­га­за, за ис­клю­че­нием кон­цен­тра­ции ди­окси­да уг­ле­ро­да. Чис­ло ней­ро­нов в скры­том сло­е равно од­на­д­ца­ти. Функ­ци­ями ак­ти­ва­ции ней­ро­нов бы­ли вы­браны сиг­мои­даль­ная функ­ция в ви­де ги­пер­бо­ли­че­ско­го тан­ген­са для скры­то­го сло­я и ли­ней­ная функ­ция для вы­

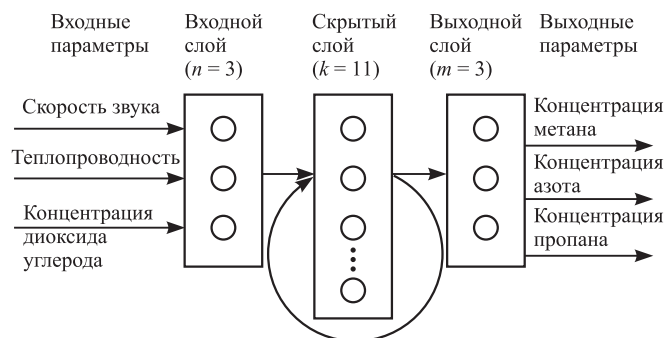


Рис. 3. Статистическая модель определения нижней теплотворной способности газа с входными и выходными параметрами

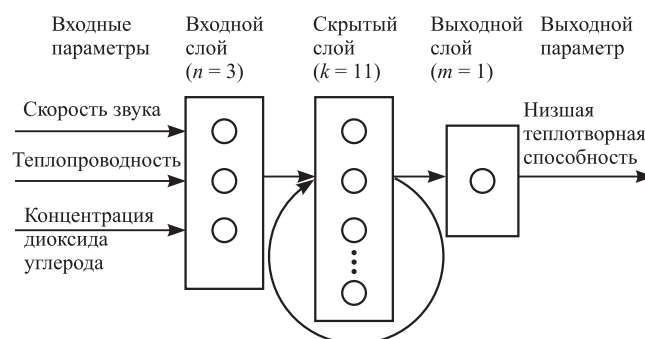


Рис. 4. Статистическая модель определения компонентного состава эквивалентного псевдогаза с входными и выходными параметрами

ход­но­го сло­я. Струк­ту­ры раз­ра­ба­тан­ных РНС для ка­ж­до­го из ме­то­дов по­ка­за­ны на рис. 3, 4 (n, k, m — чис­ло ней­ро­нов во вход­ном, скры­том и вы­ход­ном сло­ях). Для кор­ре­ля­ци­он­но­го ме­то­да опре­де­ле­ния кон­крет­ной энер­ге­ти­че­ской ха­рак­те­ри­сти­ки на рис. 3 по­ка­за­на РНС для низ­шей те­пло­тво­р­ной спо­соб­но­сти. Для выс­шей те­пло­тво­р­ной спо­соб­но­сти и чис­ла Воб­бе ар­хи­тек­ту­ры РНС буд­ут ана­ло­гич­ны.

Ис­сле­дуе­мые ней­ро­се­те­вые мо­де­ли бы­ли раз­ра­ба­та­ны, а так­же обу­ча­лись и те­сти­ро­ва­лись в Matlab 2018a. Вход­ные па­ра­ме­тры для мо­де­лей рас­счи­ты­ва­лись в про­грамм­ном ком­плек­се NIST REFPROP. В дан­ном ком­плек­се так­же про­во­дил­ся рас­чёт те­пло­тво­р­ной спо­соб­но­сти по опре­де­лён­но­му ста­ти­сти­че­ской мо­де­лю ком­по­нент­но­му со­ста­ву для пред­ла­гае­мо­го кор­ре­ля­ци­он­но­го ме­то­да.

Сравнение исследуемых корреляционных методов. После проведения обучения и тестирования нейросетевых моделей был проведён сравнительный анализ точностных характеристик работы исследуемых корреляционных методов. Для корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики природного газа точностные характеристики рассчитывали с использова-

нием непосредственно требуемых энергетических параметров газа, полученных с помощью статистической модели, и исходных значений данных параметров. Для предлагаемого корреляционного метода точностные характеристики определяли с использованием рассчитанных по полученному с помощью статистической модели компонентному составу энергетических параметров газа и исходных значений данных параметров. Для данного расчёта использовали выборку газовых смесей со следующими диапазонами концентрации по каждому компоненту: 80...100 % для метана, 0...5 % для азота, диоксида углерода и пропана. По результатам расчёта были найдены точностные характеристики методов (табл. 2): максимальное абсолютное отклонение (МАО), среднее абсолютное отклонение (САО), максимальное относительное отклонение (МОО), среднее относительное отклонение (СОО).

Приведённые результаты расчётов указывают на то, что точность определения параметров двух рассматриваемых методов весьма близка. Наибольшая разница для всех рассмотренных параметров по максимальному абсолютному отклонению составляет 0,01165 МДж/м³ (для высшей теплотворной способности), что на порядок меньше допустимой погрешности по определению данных параметров, равной 0,1 МДж/м³ для первого класса измерительных приборов согласно нормативному документу по определению теплотворной способности и числа Воббе [6].

Таблица 2

Точностные характеристики определения энергетических параметров газовых смесей для двух рассматриваемых методов*

Энергетическая характеристика	МАО, МДж/м ³	САО, МДж/м ³	МОО, %	СОО, %
Низшая теплотворная способность	$\frac{0,0533}{0,0588}$	$\frac{0,0134}{0,0154}$	$\frac{0,1404}{0,1504}$	$\frac{0,0359}{0,0413}$
Высшая теплотворная способность	$\frac{0,0432}{0,0548}$	$\frac{0,0105}{0,0144}$	$\frac{0,1244}{0,1561}$	$\frac{0,0334}{0,0427}$
Число Воббе	$\frac{0,0631}{0,0721}$	$\frac{0,0157}{0,0188}$	$\frac{0,1227}{0,1411}$	$\frac{0,0346}{0,0411}$

*В числителе дроби значение для метода определения конкретной характеристики, в знаменателе — для метода определения характеристик по компонентному составу.

Заключение. В статье рассмотрены два корреляционных метода анализа качества природного газа. Указаны основные недостатки корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики природного газа, в частности существование вероятности совпадения значений параметров для газовых и эквивалентных псевдогазовых смесей. Для корреляционного метода определения конкретной энергетической характеристики необходимо разрабатывать статистические модели отдельно для данной характеристики и невозможно определить больше одного параметра в одной задаче. В корреляционном методе определения энергетических характеристик по компонентному составу отсутствуют перечисленные недостатки, при этом сложность разработки статистической модели и объём вычислительных ресурсов соизмеримы с аналогичными характеристиками для традиционных методов. В статье продемонстрировано, что неизбежное ухудшение точности предлагаемого метода, связанное с увеличением числа этапов расчёта, не выходит за пределы допустимой погрешности определения энергетических характеристик газа.

Исследование выполнено в рамках международных проектов сотрудничества между университетами BRISK II TA и Erasmus+ 2017-1-SE01-KA107-034292 Staff Mobility.

Библиографические ссылки

1. Dörr H., Koturbash T., Kutcherov V. Review of impacts of gas qualities with regard to quality determination and energy metering of natural gas // Measurement Science and Technology. 2019. Vol. 30. No. 2. P. 1—20.
2. Котурбаш Т.Т., Брокеров И.А. Метод определения свойств и состава природного газа по измерениям его физических параметров // Датчики и системы. 2018. № 6. С. 43—50.
3. Котурбаш Т.Т., Брокеров И.А. Сравнительный анализ физических свойств природного газа и эквивалентных ему четырех- и пятикомпонентных псевдогазовых смесей // Датчики и системы. № 3. 2019. С. 7—13.
4. Schley P., Jaeschke M., Altfeld K. New technologies for gas quality determination. Flomeko, Germany, 2003.
5. Брокеров И.А. Искусственные нейронные сети для решения задачи анализа компонентного состава газовых смесей // Управление большими системами. Вып. 80. М.: ИПУ РАН, 2019. С. 98—115.
6. ISO 15971:2008. Natural gas — Measurement of properties — Calorific value and Wobbe Index. International Organization for Standardization, 2008. 50 p.

Ссылка для цитирования

Брокеров И.А. Сравнительный анализ корреляционных методов определения энергетических характеристик природного газа // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 57—60.

УДК 621.86.078.64

В.И. Коноплев, канд. техн. наук, доц., **В.Ю. Анцев**, д-р техн. наук, проф., **А.В. Воробьев**
(Тулский государственный университет)

93100@mail.ru

КРЮКОВАЯ ПОДВЕСКА С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПАДЕНИЯ ГРУЗА ПРИ ОБРЫВЕ КАНАТА В ПОЛИСПАСТЕ

Предложена крюковая подвеска с устройством заклинивания канатов полиспафта с помощью подвижных подпружиненных конусов относительно неподвижных. Подпружиненные конусы приводятся в действие системой механизмов подвижных ползунов за счёт центробежной силы от неуравновешенной массы, возникающей при обрыве одного из канатов полиспафта.

Ключевые слова: крюковая подвеска; полиспафт; канат; ползун; конус; пружина.

A hook suspension with a device for jamming the ropes of the polyspact with the help of movable spring-loaded cones relatively motionless is proposed. The spring-loaded cones are set in motion by a system of movable sliders mechanisms due to centrifugal force from the unbalanced mass arising at the breakage of one of the sheaves of the polyspact.

Keywords: hook suspension; polyspact; rope; slider; cone; spring.

Обрыв канатов полиспафтной системы в механизмах подъёма грузоподъёмных кранов приводит к аварии и, как следствие, к большим экономическим потерям. При выборе технических средств обеспечения безопасности при эксплуатации грузоподъёмных машин должны выявляться опасные и вредные факторы, характерные для технологического процесса перемещения грузов в подвешенном состоянии [1]. Эти средства должны предотвращать падение грузов при обрыве каната в полиспафтной системе механизма подъёма.

Для предотвращения падения свободно подвешенного на крюке груза при обрыве каната в полиспафте предлагается использовать крюковую подвеску [2], показанную на рис. 1. Она состоит из исполнительного механизма в виде подвижных конусов, две половины которых 1 и 2 вставлены в полые неподвижные конусы 3, и поддерживающего спускового устройства 4 подвижных конусов.

Крюковая подвеска (см. рис. 1) содержит крюк 5 с блоками 6, канат 7 и металлоконструкцию кожухов 8. Подвижные конусы изготовлены с центральным отверстием, соответствующим диаметру каната. Поверхности отверстий подвижных конусов, прилегающие к канату, выполнены с накаткой. Половины подвижного конуса могут приближаться к канату или удаляться от него по направляющим штифтам 9. Поддерживающее спусковое устройство подвижных конусов смонтировано на верхней части металлоконструкций кожухов крюка и состоит из оси 10, парных двуплечих

рычагов 11, пружины 12 для перемещения половин подвижных конусов в неподвижном конусе и механизма фиксации 13 положения парных двуплечих рычагов 11. Ось установлена на опорах 14 и 15 кожухов симметрично оси крюковой подвески. На оси в плоскости расположения ручьёв блоков симметрично выполнены клинья 16. Симметрично горизонтальной оси ручья блоков на верхней части кожуха смонтированы парные двуплечие рычаги 11, которые могут поворачиваться относительно спаренных осей 17. Одни концы парных двуплечих рычагов выполнены в виде скосов 18 и связаны с клиньями 16 оси 10, а другие — в виде лапок 19 и 20, имеющих цилиндрическую поверхность с внутренних сторон, которая переходит в коническую поверхность, и выступов 21. Между парными двуплечими рычагами расположена пружина 22. Лапки 19 и 20 рычагов 11 поддерживают половины подвижных конусов 1, 2. Пружина 12 через винт 23, заканчивающийся в хвостовой части площадкой, имеющей продольный паз для перемещения пальца 24, взаимодействует с половинами 1, 2 подвижного конуса. В нерабочем положении пружина 12 сжата. Механизм фиксации 13 положения двуплечих рычагов включает кулачки 25, закреплённые на оси 10, расположенные в пазах кожухов 8 параллельно торцевой плоскости блока. На каждой торцевой плоскости блока с наружной стороны крюковой подвески выполнены направляющие 26, в которые установлены ползуны 27 с фиксирующим отверстием 28 и фиксатором 29 с пружиной 30.

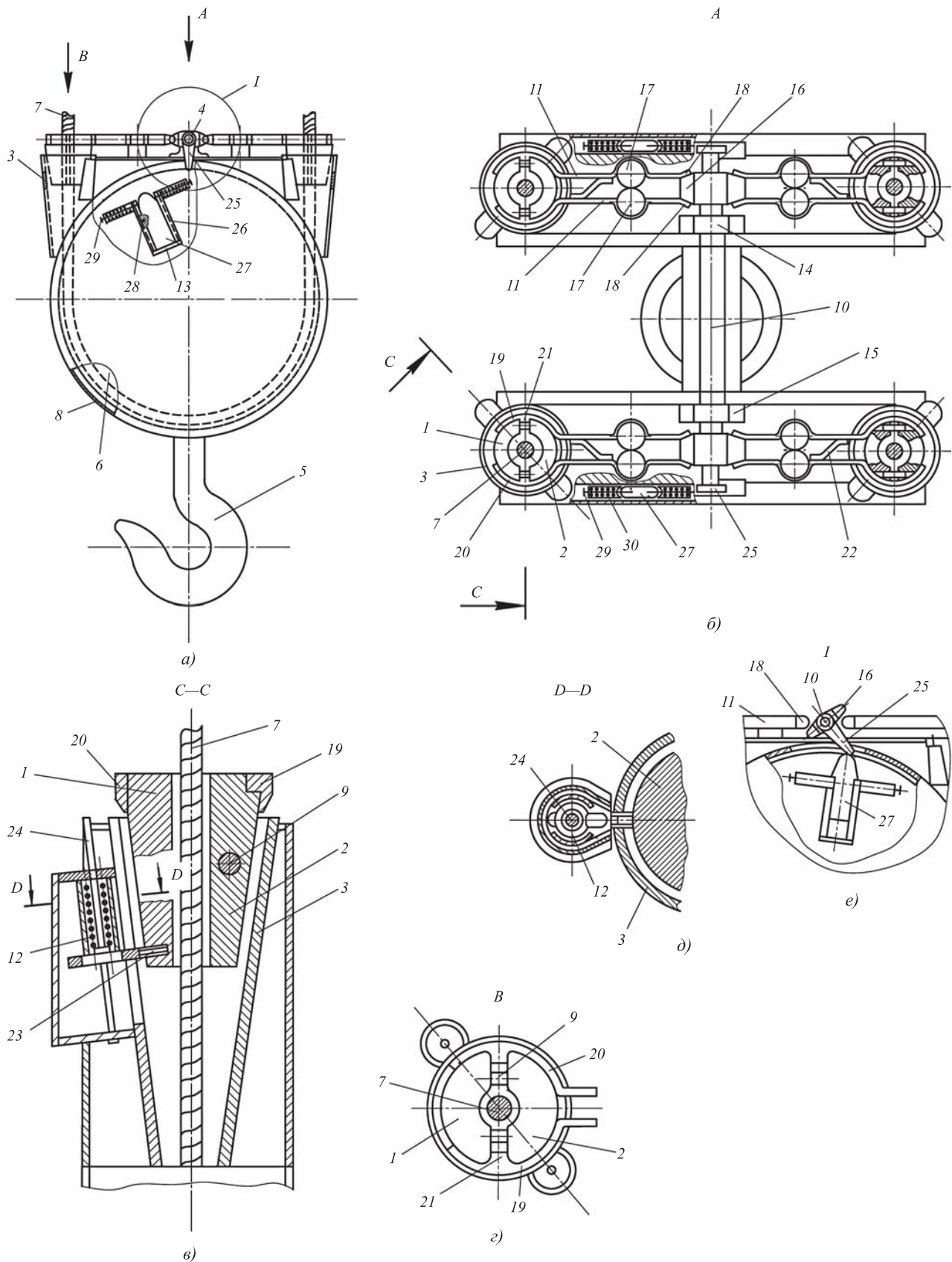


Рис. 1. Крюковая подвеска с устройством для предотвращения падения груза при обрыве каната в полиспасте:

a — общий вид; *б* — схема расположения элементов устройства в нерабочем положении; *в* — схема расположения подвижного конуса относительно неподвижного; *г* — схема кинематической связи половин подвижного конуса; *д* — схема расположения пружины с подвижным конусом; *е* — схема расположения ползуна и кулачка при обрыве каната

При обрыве одной из ветвей каната полиспаста число оборотов блоков резко возрастает. Ползуны, перемещаясь за счёт центробежной силы в направляющих, сжимают пружины фиксаторов. Фиксаторы западают в фиксирующие отверстия, и ползуны останавливаются. В результате контакта ползунков с кулачками ось поворачивается, а клинья выходят из соприкосновения с концами спаренных рычагов со скосами. Рычаги под действием пружин поворачиваются относительно спаренных осей, одновременно лапки отходят от подвижных конусов. Подвижные конусы получают возможность свободно перемещаться вниз под действием пружин, которые приводятся в рабочее положение, до соприкосновения своими наружными поверхностями с внутренними поверхностями неподвижных конусов и внутренними поверхностями половин подвижных конусов с поверхностями ветвей полиспаста. Половины подвижных конусов сближаются по штифтам. За счёт принудительного нажатия пружины и силы трения каната о накатанную поверхность подвижных конусов происходит заклинивание каната в подвижном конусе относительно неподвижного.

Согласно условию равновесия клина в направлении его оси [3] можно записать выражение

$$P = Q[\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi],$$

где P — усилие затяжки подвижного конуса, обеспечиваемое пружиной, кН; φ , φ_1 — углы трения между подвижным конусом и канатом и неподвижным и подвижным конусами соответственно; α — угол скоса клина; Q — нормальная сила давления подвижного конуса на канат, кН (рис. 2).

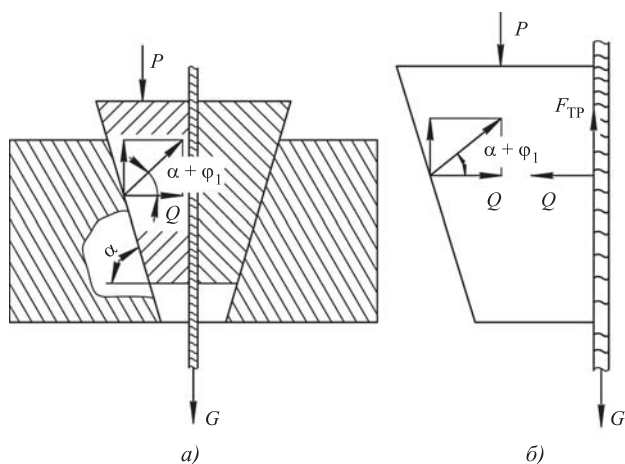


Рис. 2. Расчётная схема заклинивания каната при его обрыве:

a — клиновое соединение устройства для предотвращения падения груза; b — расчётная схема клинового соединения

Усилие натяжения каната должно быть уравновешено силой трения между канатом и клином, выполненным из двух подвижных конусов, с коэффициентом запаса:

$$F_{\text{тр}} = \kappa G,$$

где κ — коэффициент запаса; G — усилие натяжения ветви каната, кН.

С другой стороны, сила трения определяется через усилие нормального давления по формуле

$$F_{\text{тр}} = Q \operatorname{tg} \varphi.$$

Из этой формулы вытекает, что нормальная сила давления подвижного конуса на канат

$$Q = \frac{F_{\text{тр}}}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{\kappa G}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Зависимость между усилием P затяжки подвижных конусов и натяжением каната G определяется по формуле

$$P = \frac{\kappa G}{\operatorname{tg} \varphi} [\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) + \operatorname{tg} \varphi].$$

В заключение необходимо отметить, что крюковая подвеска с предлагаемым устройством позволяет решить проблему предотвращения падения свободно подвешенного на крюке груза путём одновременного заклинивания всех канатов полиспаста в корпусе крюковой подвески. Предложенная методика расчёта усилия затяжки подвижного конуса относительно неподвижного позволяет подобрать необходимое усилие принудительного нажатия пружины и её параметры.

Библиографические ссылки

1. Ерофеев Н.И. Предохранительные и сигнализационные устройства кранов. М.: Машиностроение, 1980. 152 с.
2. Коноплев В.И., Шестаков В.А., Конов А.Г. Устройство для предотвращения падения грузов при обрыве каната в полиспастных подвесах // А. с. СССР № 922046. 1980. Бюл. № 15.
3. Решетов Д.Н. Детали машин: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1975. 655 с.

Ссылка для цитирования

Коноплев В.И., Анцев В.Ю., Воробьев А.В. Крюковая подвеска с устройством для предотвращения падения груза при обрыве каната в полиспасте // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 61—63.



УДК 05.13.18

В.А. Столярчук, канд. техн. наук

(Московский авиационный институт — национальный исследовательский университет)

stolyarchukva609@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработана автоматизированная система для совместной работы исследователей и получения актуальной информации. Рассмотрена концепция платформы открытого доступа для детализации, обмена знаниями, обсуждения процесса научного исследования и его результатов, которые могут быть полезны до, во время получения и после публикации итоговых результатов.

Ключевые слова: научное исследование; научное сообщество; автоматизированная система; промежуточные результаты исследования; проблема публикации.

An automated system for joint researchers work and for actual information receiving is developed. The concept of an open access platform for detailing, knowledge exchange, discussing the research process and its results, which may be useful before, during and after the final results publication, is considered.

Keywords: scientific research; scientific community; automatic system; intermediate research results; publication problem.

В современном мире автоматизации подвергаются процессы и этапы работы в различных отраслях — проектирование, внутренняя и внешняя логистика предприятия, техническое обслуживание и т. д. Спектр различных автоматизированных систем (АС), решающих всевозможные задачи, крайне обширен. Стоит отметить сложнейшие ERP-системы, успешно внедряющиеся на предприятиях (SAP R3, Teamcenter, 1C), в которых собраны алгоритмы решения по автоматизации бизнес-процессов предприятия, обособленные в модулях и интегрированные между собой. Такие системы являются крайне дорогими, однако накопленный в них запас знаний и область возможного применения настолько широки, что подобные системы обслуживают большинство крупных корпораций по всему миру [1].

Принцип внедрения и разработки любой АС заключается в алгоритмизации и стандартизации всех бизнес-процессов предприятия, а также в сборе информации в единую базу знаний. Это позволяет получать актуальную информацию, а также проводить своевременный контроль ресурсов предприятия в нужный момент.

Такой подход способствует снижению вероятности ошибок и недопонимания среди работников предприятия, так как АС представляет собой инструмент, который служит для упрощения выполнения требуемой работы. Напри-

мер, в рамках конструкторского бюро такие АС служат в основном для распределения задач между инженерами, предоставления информации, необходимой инженеру для выполнения собственной проектной или конструкторской работы, и информации о работах, проводимых параллельно. Более того, в рамках работы инженера некоторые процессы могут быть стандартизированы и описаны как шаблон, который в дальнейшем будет использоваться другими инженерами для упрощения достижения поставленной задачи. Как правило, любой результат работы инженера имеет на выходе техническую документацию по изготовлению, ремонту, обслуживанию и эксплуатации. Эти процессы также подвержены автоматизации и существуют готовые решения, как индивидуальные, так и в рамках больших систем [2].

Научное исследование, как правило, проводится отдельным человеком или сообществом учёных исследовательской группы, разрабатывающей идею, метод, проект или технологию. Накопленные при этом опыт и знания зачастую слишком детализированы для включения в научные статьи. Помимо конечных результатов исследования существуют промежуточные результаты, которыми желательно поделиться с научным сообществом в целях как сообщения об этих результатах, так и их обсуждения, не исключая критику

самого направления исследований. Однако механизм публикации промежуточных результатов научной работы в виде статей для этой цели малопригоден, так как процесс публикации занимает немало времени и усилий, не говоря уже о внесении изменений в существующую публикацию.

Работа учёного, по сути, не отличается от работы инженера, если рассматривать её с точки зрения АС. Исследователь также использует свои знания и опыт коллег, и по результатам проделанной работы предоставляет информацию другим учёным. Понятно, что для учёного важно обладать необходимым инструментом и актуальной информацией по проблеме, над которой он работает.

Упрощённый вариант процесса проведения научной работы (научного эксперимента) включает следующие этапы:

- 1) подготовка необходимой информации и ресурсов для проведения работы;
- 2) проведение научной работы;
- 3) анализ полученных данных.

Все эти этапы поддаются автоматизации в разной степени завершённости.

На первом этапе учёному необходимо обладать возможно полной информацией о схожих по тематике результатах проектных работ или экспериментах, проводимых другими учёными. Понятно также, что на этом этапе желательно обладать как можно большей информацией о требуемых ресурсах, что позволит избежать различных задержек и затрат.

В процессе проведения самой научной работы или научного эксперимента желательно обладать инструментом, позволяющим упростить процесс проведения работы путём обработки и сохранения полученных результатов.

Сам процесс научной работы или научного эксперимента, как правило, может быть представлен в виде набора записанных процедур (протоколов), который был сформулирован учёным в процессе подготовки или уже был известен до начала подготовки к проведению работы.

В протокол заносится подробное описание шагов проводимого эксперимента или исследования, а также промежуточные и окончательные результаты с выводами исследователя.

Сложные научные работы или эксперименты могут быть представлены как совокупность готовых протоколов с внесением в них изменений и/или добавлением новых этапов.

В результате успешного проведения работы инженер заносит полученные результаты

в централизованную базу данных предприятия в специально нормированном (запротоколированном) виде, а учёный либо публикует полученный протокол, либо вносит запрос на изменение протокола(-ов), который использовался в эксперименте.

Для учёных существует дополнительное обстоятельство, которое необходимо учитывать при современном бурном развитии науки. В отличие от инженера смежниками учёного являются не работники предприятия и даже не объединения предприятий, а учёные всего мира. При этом они могут трудиться над одной и той же тематикой в подразделениях предприятий, научных центров, университетах и даже индивидуально «на дому». Но при существующем положении дел обмен информацией о проведённых и проводимых работах носит недопустимо медленный характер.

Научные статьи давно стали универсальным способом распространения идей, гипотез и чаще всего изложения конечных результатов исследований. Для поддержки научной деятельности появляются различные механизмы распространения и поиска научных статей.

Для доступа к информационным ресурсам существуют автоматизированные системы, многие из которых изначально строятся кроссплатформенными как в виде отдельных приложений под различные мобильные устройства, так и в виде веб-страниц, доступных с любого устройства, обладающего браузером.

На данный момент существуют базы знаний (научные журналы, библиотеки, статьи в Интернете), в которых хранятся статьи и публикации, содержащие результаты научных исследований, которыми учёные активно пользуются.

В результате общий объём научной информации, доступной через разнообразные поисковые системы, неуклонно растёт. Например, как указано в работе [3], в январе 2013 г. в системе Web of Science содержалось порядка 49,4 млн документов, в марте 2017 г. уже перевалило за отметку 90 млн.

Учёному, целью которого является получение актуальных сведений о развитии науки в интересующем его направлении, приходится использовать специальные информационные системы для поиска нужных публикаций, так как самостоятельный анализ такого количества работ невозможен. Учитывая общую тенденцию роста числа доступных документов, можно сделать осторожное предположение, что он носит экспоненциальный характер.

Возникает парадоксальная ситуация, когда, с одной стороны, информация становится всё доступнее, информационные поисковые системы обрабатывают всё большее количество материала, с другой — анализ результатов выдачи поисковых систем становится всё более трудной задачей из-за увеличения количества найденных материалов.

Но помимо конечных результатов существуют промежуточные результаты исследований, которыми желательно было бы поделиться с научным сообществом с целью как сообщения об этих результатах, так и возможной критики направления исследований. Однако механизм публикации промежуточных результатов научной работы в виде статей для этой цели мало пригоден, так как процесс публикации занимает немало времени и усилий, не говоря уже о внесении изменений в существующую публикацию. Учёный может повторно опубликовать статью или же подать запрос на её изменение, но эти процессы занимают, как правило, много времени, в течение которого учёные других научных центров будут использовать результаты, которые содержат ошибки или требуют корректировки. Особенно это актуально для результатов исследований, используемых в промышленности и служащих стандартом при изготовлении, например, какого-либо вещества или сплава.

Поэтому для целевого распространения и поиска научно-технической информации требуется создавать автоматизированные системы, которые должны решать следующие задачи:

- занесение результатов собственных исследований в общую базу данных;
- поиск научно-технической информации;
- анализ предпочтений конечного пользователя для автоматизации подбора научных статей;
- предоставление доступа к научной документации с различных устройств.

Концептуальная схема такой системы приведена на рис. 1.

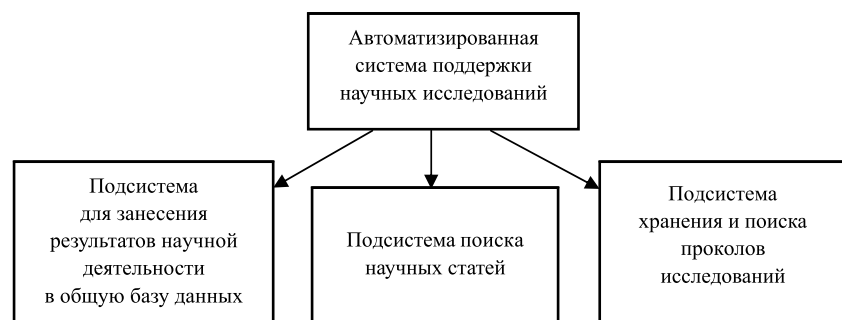


Рис. 1. Схема автоматизированной системы научных исследований

Подобная система должна обеспечить комплексное сопровождение научной деятельности, позволять учёному избежать проблем, связанных с получением актуальной информации по его теме исследований, а также с публикацией промежуточных и конечных результатов и протоколов исследований. Описываемая информационная система поддержки научных исследований предполагает использование современного подхода к разработке ПО, а именно, деление компонент на самостоятельные модули для увеличения надёжности и производительности, использования нереляционных СУБД, базирующихся на принципе key-value, примером которых могут послужить MongoDB, eXide DB и др., для хранения данных исследований и статей. Предполагается, что различные модули такой системы можно будет располагать на отдельных серверах, притом даже физически удалённых, основное взаимодействие между отдельными машинами будет осуществляться через Интернет.

В настоящее время уже существует несколько информационных систем, которые схожи с составными частями описываемой. В частности, разработан продукт protocols.io компании Zarry Lab [4], который позволяет учёным использовать «облачное» хранилище для протоколов их исследований, предоставляющее централизованный доступ к ним, а также дающее возможность формирования перекрёстных ссылок. Подобный функционал позволяет избежать проблем, связанных с исправлением найденных ошибок в уже опубликованных экспериментах, а также ссылаться в своём собственном исследовании на актуальную версию протокола, составленного другим учёным. Данный сервис стремительно набирает популярность среди учёных, что демонстрирует потребность в универсальном методе электронного ведения научной документации исследований. Кроме того, имеется возможность создания копий открытых («публичных») протоколов исследования, их последующего изменения и публикации новых ревизий, что позволяет создать своего рода систему общественного рецензирования. Если другие пользователи, работающие в рамках данной тематики, находят ошибки или неточности, они могут вносить свои исправления и публиковать результаты.

Важным моментом является автоматизация процесса отбора научной документации на основе анализа предпочтений пользователей. Общая схема работы системы приведена на рис. 2.

Система разработана в целях формирования списков рекомендованной научной литературы в биологии на основе анализа собственной библиотеки пользователя. Ключевой идеей является возможность доступа пользователей с любых устройств, так как она построена в виде веб-приложения.

Основные модули системы:

NLM Importer (National Library of Medicine Importer) — программа для импорта метаданных статей из Национальной библиотеки медицины США);

BiVTeX Parser — программа импорта статей из файлов .bib (поддерживаются различные подстандарты BibTeX);

SuggestedReading — программа генерации рекомендаций пользователям на основе их библиотек (данный сценарий, написанный на ЯП Python, является ключевым элементом описываемой информационной системы).

Для доступа к научным статьям Национальная библиотека медицины США (National Library of Medicine of US) [5] выбрана неслучайно: статьи в ней находятся в открытом доступе и их данные доступны для скачивания в формате xml с помощью протокола FTP.

В настоящее время подобную систему предполагается реализовывать на основе опыта, полученного в ходе разработки предыдущих информационных систем. В частности, предусматривается проектирование и реализация схемы хранения данных научных статей в одном хранилище, протоколов исследований — в другом, данных пользователей — в третьем, а также разработка программных комплексов для обработки описанных данных, способных к взаимодействию между собой. Далее предполагается разработка веб-приложения в качестве основного интерфейса взаимодействия пользователя с системой.

Автоматизированные системы поиска и дистрибуции информации ежедневно помогают огромному количеству людей получить необходимые им данные. В подобные системы постепенно вводятся элементы машинного обучения (примером может служить контекст-

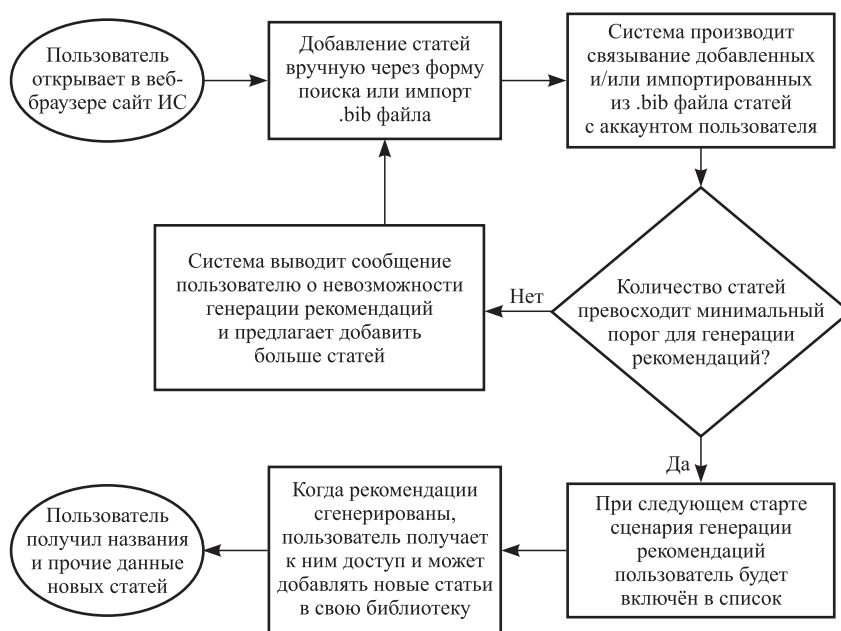


Рис. 2. Схема автоматизации процесса отбора нужной информации

ная реклама в сети Интернет, для её показа учитываются интересы пользователя, посещаемые им страницы, а также поисковые запросы). Подобное применение современных информационных технологий возможно также и в рамках поддержки научных исследований. Данная предметная область отнюдь не насыщена программными продуктами, обеспечивающими возможность централизованного и комплексного хранения данных научных исследований в электронном виде, а судя по спросу на упомянутые ранее программные продукты, потребность в них постоянно растёт.

В рамках существующих систем (баз знаний) протокол описывается как статья без какой-либо автоматизации и алгоритмизации данных. Сам протокол по большей части поддается алгоритмизации в рамках системы и представляет собой древовидный алгоритм, в котором шаг за шагом описан ряд действий и условий, которые должны быть проведены для получения конечного результата. Таким образом, если разделить протокол на этапы, а этапы — на составляющие (описание, время, используемые реагенты и т. д.), то такие данные поддаются систематизации, что в свою очередь приводит к тому, что они могут храниться и использоваться не как одна статья, а как собираемые в объекты данные для получения полноценного протокола.

Дробление и хранение данных протокола не как единого целого, а как его составляющих, обеспечивает учёным гибкость в использовании и изменении протокола. После

этого учёному уже не нужно описывать весь протокол с начала, а достаточно лишь взять необходимые части уже существующего протокола, изменить или добавить свои и отправить изменения на хранение.

Главной особенностью такого подхода является то, что процесс публикации и внесения изменений будет упрощён в несколько раз. Учёный получает доступ к последним изменениям протокола от автора или других учёных, которые нашли ошибки или более оптимальный способ проведения этого протокола. Таким образом, учёный будет обладать актуальной информацией по требуемым протоколам.

Кроме того, дробление протокола позволяет создать более удобный и «дружественный» интерфейс для просмотра, создания и изменения протоколов.

Важно то, что в рамках такой системы все изменения, пометки, аннотации будут сохраняться в базе данных и к ним может быть предоставлен доступ не только в рамках одной лаборатории, а в рамках всего научного сообщества. Учёные получают возможность публиковать свои изменения более простым и менее затратным способом, чем публикации в журналах или книгах. Такой подход позволит учёным создавать копии уже опубликованных протоколов, вносить в них изменения и публиковать.

Ещё одной положительной стороной является то, что протокол может быть фактически «запущен» в рамках системы. Учёный может пройти протокол шаг за шагом. Такая возможность упрощает работу с протоколом и позволяет подвергнуть проведение эксперимента редакции в рамках системы, т. е. учёный, работающий с протоколом, будет иметь возможность в дальнейшем просматривать свой журнал экспериментов, в котором представлена история прохождения шагов протокола. Учёный сможет внести какие-то пометки в историю как ко всему журналу, так и к конкретным шагам проведённого эксперимента.

Важной особенностью редактирования протокола в рамках АС, является то, что учёному может быть предоставлен доступ к данным его журнала со всевозможных устройств (ПК, мобильный телефон или планшет), что в свою очередь позволяет уменьшить время на получение необходимых данных, так как все данные могут быть подвергнуты поиску, категоризации и т. д. Таким образом, учёные смогут оптимизировать свою работу и затрачивать больше времени на сам эксперимент, чем на бумажную работу.

Формат записи протоколов в настоящее время не имеет единой спецификации на публикацию, которая есть, например, у технических публикаций (ASD S1000D. ASD S1000D на данный момент является обязательным в странах НАТО, Европы и Северной Америки). Изначально он создавался для авиационной отрасли, однако впоследствии был расширен и сейчас используется во множестве различных отраслей. В России аналогом S1000D является набор государственных стандартов (например, ГОСТ 2.611—2011), однако некоторые из них были переработаны с учётом S1000D. Российские компании вынуждены использовать ASD S1000D для того, чтобы иметь возможность продавать свою продукцию на международном рынке.

Заметим, что использование единой спецификации на публикацию гарантирует уверенность в надёжности передачи и хранения данных. Это также позволяет уверенно передавать публикации по изделиям между различными компаниями, которые смогут использовать документы, написанные по стандарту для их импорта в используемые АС компании, так как схемы спецификации открыты и необходимо лишь преобразовать данные из начального формата в формат системы. Научные протоколы также могут быть подвержены стандартизации публикации, что обеспечит преимущества, которые есть у S1000D.

Описание пилотного проекта информационной поддержки НИОКР ракетно-космической техники на базе кроссплатформенного мобильного приложения с использованием части изложенных процедур приведено в работе [6].

Разрабатываемая система схожа с уже существующими системами, направленными на хранение и работу с данными, которые могут быть подвергнуты систематизации (например, системы для работ по техническому обслуживанию и ремонту, только с учётом специфики научных протоколов). Схожие системы в других отраслях исключительно положительно сказываются на работе компаний, которые их используют. Такие системы должны значительно упростить работу учёных, создать единую базу знаний научных протоколов, а также снизить издержки предприятий, которые используют протоколы в производстве.

К сожалению, рынок АС, решающих эти задачи, на данный момент довольно узок. Существуют различные узконаправленные АС, помогающие разработчикам в некоторых отраслях, однако в целом систем такого рода

крайне мало. Особенно эта проблема актуальна для учёных, работающих в областях экспериментальной физики, химии, биохимии и других смежных наук. В работе таких учёных важную роль играют проводимые эксперименты. Пионером в этой области можно назвать уже упоминаемую систему Zappu Lab [7], ориентированную на проведение научных экспериментов в области биологии.

Данная система обладает собственной серверной программной платформой, построенной на базе шаблона проектирования Model-View-Controller (MVC), с использованием интерпретируемого языка программирования PHP. Также в системе используется реляционная модель базы данных в рамках системы управления базами данных MySQL.

В системе используются следующие технические решения [8]:

Apache HTTP-сервер веб-сервер;

серверная программная платформа, построенная на базе шаблона проектирования Model-View-Controller (MVC), с использованием интерпретируемого языка программирования PHP;

реляционная модель базы данных в рамках системы управления базами данных MySQL;

PDO (PHP Data Objects) — расширение для PHP, предоставляющее разработчику простой и универсальный интерфейс для доступа к различным базам данных;

Memcached — программное обеспечение, реализующее сервис кэширования данных в оперативной памяти на основе хеш-таблицы;

Amazon Web Services PHP SDK — комплект средств для работы с платформой облачных веб-сервисов компании Amazon.

В системе реализован следующий функционал, необходимый для решения поставленной задачи:

создание, редактирование и управление данными протоколов;

система контроля и защиты данных пользователя и пользовательской сессии;

прикладной интерфейс взаимодействия между клиентом и сервером (вытекает из использования MVC).

Достижение поставленной цели включает в себя следующие этапы:

1) концептуальное проектирование (разработка семантической модели базы данных, построение модели серверного приложения с учётом существующей системы и построение модели по выбранной архитектуре клиентского (браузерного) приложения);

2) реализация разработанного концептуального проекта;

3) формирование пользовательского интерфейса на основе макета.

Разрабатываемая система должна обладать прямой и обратной связью с уже существующей системой, а также иметь существующую архитектуру приложения.

В рамках клиентского приложения должны быть решены следующие задачи:

реализация возможности поэтапного выполнения протокола, сформированного из данных существующей системы;

передача на сервер журнала результатов выполнения протокола для его сохранения;

обеспечение возможности создания категорий (проектов) для журнала выполнения протокола;

обеспечение возможности просмотра проектов журнала;

реализация пользовательского интерфейса для работы с журналом, включающего в себя добавление пометок, комментирование, прикрепление медиафайлов для каждой части журнала (протокол, шаг протокола, всего проекта);

реализация возможности возобновления выполнения протокола пользователем в случае каких-либо обстоятельств, способствующих остановке выполнения;

реализация возможности выгрузки журнала в определённых форматах данных (json, txt), а также загрузки журнала в систему из формата json;

поддержка возможности выборочной архивации данных;

поддержка возможности доступа большого количества пользователей и наличие свойств отказоустойчивости.

В рамках серверного приложения:

реализация функционала по сохранению, удалению и управлению данными журнала;

реализация программного интерфейса для двусторонней передачи данных журнала между клиентом и сервером, поддерживающего также обмен данными с мобильными устройствами;

контроль доступа и защита данных журнала.

Подобная система призвана обеспечить комплексное сопровождение научной деятельности, позволив учёному избежать проблем, связанных с получением актуальной информации по его теме исследований, а также с публикацией промежуточных и конечных результатов и протоколов исследований. Описываемая информационная система поддержки научных исследований предполагает исполь-

зование современного подхода к разработке ПО, а именно, деление компонент на самостоятельные модули для повышения надёжности и производительности, использования нереляционных СУБД, базирующихся на принципе key-value, примером которых могут послужить MongoDB, eXide DB и др., для хранения данных исследований и статей. Предполагается, что различные модули данной системы можно будет располагать на отдельных серверах (даже физически удалённых). Основное взаимодействие между отдельными машинами будет осуществляться через Интернет.

Перспективность системы подтверждают, в частности, результаты использования продукта protocols.io компании ZappyLab [9], использующего «облачное хранение» протоколов, который стремительно набирает популярность среди учёных, что подтверждает потребность в универсальном методе электронного ведения научной документации исследований.

В настоящее время у системы 42 тыс. зарегистрированных постоянных пользователей и примерно 1000 обращений в день. За последний год (с августа 2018 г. по август 2019 г.) к системе обращалось 25 тыс. специалистов. Также наблюдается рост использования web-технологий, интегрированных в АС. Это обусловлено в первую очередь гибкостью и удобством таких решений как для разработчиков, так и для пользователей.

В сложных АС используются web-технологии для создания пользовательского интерфейса, так как пользователям уже знакома основная концепция работы с такими решениями, а разработчикам таких систем не представляет трудности интегрировать эти решения в работу уже функционирующей АС.

В настоящее время существует множество различных программных решений, которые берут на себя роль лабораторного журнала. Их основная цель — предоставить учёному комплекс решений по упрощению записи, хранения и анализа данных его работы. Но все эти решения построены на хранении данных индивидуально для каждого учёного, без возможности их публикации. Также эти решения не имеют базы уже известных протоколов, которые можно было бы использовать в процессе работы.

Таким образом, основной идеей продукта типа protocols.io является создание электронной библиотеки научных протоколов с возможностью внесения и публикации новых протоколов любым пользователем, а также

предоставления учёным инструментов, позволяющим выполнять и редактировать результат выполняемых протоколов в рамках системы.

В подобные системы постепенно вводятся элементы машинного обучения, примером которых может послужить контекстная реклама в Интернете; для её показа учитываются интересы пользователя, посещённые им страницы, а также поисковые запросы. Подобное применение современных информационных технологий возможно также и в рамках поддержки научных исследований с участием студентов, в том числе обучающихся по направлениям подготовки, связанным с разработкой программного обеспечения. Заслуживает внимания и тот факт, что в июне 2019 г. по сети распространено сообщение [10] о том, что все студенты, преподаватели и сотрудники Калифорнийского университета в каждом из кампусов теперь имеют бесплатный доступ в protocols.io Premium для индивидуального и группового использования. Это записано в лицензии университетского сайта для университета Карнеги—Меллона.

Помимо прямого использования системы в научных и учебных целях представляется возможным включение самих студентов в разработку системы, что позволяет существенно расширить команду разработчиков, решить больше задач и подготовить разработчиков ПО для подобных систем. Это находится в русле разрабатываемой автором концепции по подготовке IT-специалистов [11].

Библиографические ссылки

1. **Shatalova T.N., Zhirnova T.V.** System of industrial enterprise controlling: problems and prospects. Science Book Publishing House LLC. Yelm, WA, USA, 2014. 196 p.
2. **Кондрашов Ю.Н., Падалко С.Н.** Автоматизация управления проектами в организационных структурах. М.: Изд. дом «Библиоглобус», 2016. 182 с.
3. **Khabsa M., Giles C.** The number of scholarly documents on the public web // The Plos One Community Blog — 2014. URL: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0093949> (дата обращения: 16.08.2019).
4. **Zappy Lab.** URL: <https://www.protocols.io> (дата обращения: 16.08.2019).
5. **U.S.** National Library of Medicine [Электронный ресурс]. URL: https://www.nlm.nih.gov/databases/download/pubmed_medline.html (дата обращения: 16.08.2019).
6. **Столярчук В.А.** Поддержка жизненного цикла ракетно-космических систем с использованием мо-

бильных приложений // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. Вып. 3. С. 218—220.

7. **Zappy Lab** opens the way to mobile apps for researchers URL: <https://connectedresearchers.com/zappy-lab-opens-the-way-to-mobile-apps-for-researchers> (дата обращения: 16.08.2019).

8. **Protocols.io**. Developer resources. URL: <https://www.protocols.io/developers> (дата обращения: 16.08.2019)

9. **Teytelman L.** et al. Protocols.io: Virtual Communities for Protocol Development and Discussion // PLOS Biology, Fifteenth Anniversary. 2016.

10. **Teytelman L.** Protocols.io: URL: <https://mailchi.mp/1f1604738832/introducing-campus-licenses?e=599ec2e518> (дата обращения: 16.08.2019).

11. **Столярчук В.А.** Программный комплекс как учебный объект разработки // Программные продукты и системы. 2016. Вып. 1. С. 140—145.

Ссылка для цитирования

Столярчук В.А. Автоматизированная система поддержки научных исследований // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 64—71.

УДК 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф.

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Представлены критерии оценки наблюдаемости, управляемости, параметрической идентифицируемости линейных стационарных и нестационарных систем, а также нелинейных систем. Рассмотрены некоторые известные подходы к решению задач определения степени наблюдаемости, управляемости, параметрической идентифицируемости и адаптивности линейных и нелинейных моделей динамических систем.

Ключевые слова: модель динамического объекта; структурные свойства; качественные характеристики; степень управляемости; степень наблюдаемости; степень параметрической идентифицируемости; степень адаптивности.

The assessment criteria of observability, controllability, parametric identifiability for linear stationary and non-stationary systems, as well as for non-linear systems, are introduced. Some known approaches to solving problems of determining the degree of observability, controllability, parametric identifiability and adaptability of linear and nonlinear models of dynamical systems are considered.

Keywords: model of a dynamic object; structural properties; quality characteristics; degree of controllability; degree of observability; degree of parametric identifiability; degree of adaptability.

Введение. Решение задач управления различными динамическими объектами предполагает использование математических моделей исследуемых процессов. Анализ динамических объектов с помощью математических моделей предполагает, в частности, выяснение устойчивости, наблюдаемости, управляемости, идентифицируемости и др. Наличие таких свойств позволяет получить принципиальную возможность синтезировать исследуемую систему управления динамическим объектом, оценить её состояние, идентифицировать неизвестные параметры. Известны разнообраз-

ные критерии оценки этих свойств [1—5]. Однако в практических приложениях часто недостаточно получить принципиальный ответ на вопрос, устойчива, наблюдаема, управляема, идентифицируема система или нет. Желательно оценить качества исследуемой динамической системы: максимум ошибки, быстродействие, различные интегральные оценки, запас устойчивости, чувствительность, степени наблюдаемости, управляемости, идентифицируемости и адаптивности [4—22]. Определение этих свойств позволяет задать желаемые свойства системе на этапе проектирования. При

разработке и модернизации систем управления в алгоритмическом обеспечении удаётся использовать модели с желаемыми (улучшенными) свойствами. Критерии оценки структурных свойств моделей часто являются методологической основой при исследовании их качественных характеристик.

Оценка степени управляемости динамических объектов, как правило, летательных аппаратов, осуществляется с помощью различных диаграмм, балансировочных кривых и др. [13]. Эти способы широко применяются, но требуют проведения экспериментов в большом объёме и субъективных оценок лётчиков. Критерии оценки качества с помощью запаса устойчивости и функции чувствительности хорошо теоретически отработаны и широко применяются на практике. Эти качественные характеристики имеют явно выраженную связь: мерой чувствительности системы к параметрическим возмущениям служат запасы устойчивости по амплитуде и фазе.

Способы оценки других качественных характеристик более разнообразны. Они основаны на применении различных методических подходов [8—25]. Возможно, это связано с отсутствием эффективного удобного методического аппарата оценки этих качественных характеристик моделей динамических объектов. Выбор способа оценки каждой качественной характеристики осуществляется субъективно из набора известных критериев.

Наиболее популярные способы оценки качественных характеристик моделей динамических объектов приведены в настоящей статье. Представленный обзор может быть полезен при выборе способов и подходов к исследованию качественных характеристик моделей.

Критерии наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости. Рассмотрим структурные свойства моделей динамических объектов — наблюдаемость, управляемость и параметрическую идентифицируемость моделей. Наблюдаемость и управляемость играют важную роль при синтезе систем управления динамическими объектами и оценивании их состояния.

Одним из популярных критериев является критерий Калмана [1, 26], который отличается простотой и широко используется в практических приложениях. Пусть объект описывается уравнениями вида

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t); \\ \mathbf{z}(t) &= \mathbf{H}\mathbf{x}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где \mathbf{x} — n -вектор состояния; \mathbf{u} — m -вектор управления; \mathbf{z} — вектор измерений; \mathbf{A} — $(n \times n)$ -матрица системы; \mathbf{B} — $(n \times m)$ -матрица управления; \mathbf{H} — матрица измерений.

Система (1) называется полностью наблюдаемой на интервале времени $[0, t_1]$, если вектор состояния $\mathbf{x}(t_0)$ можно определить по известному вектору измерений $\mathbf{z}(t)$. Проверку наблюдаемости можно осуществить, воспользовавшись критерием полной наблюдаемости Калмана. Система (1) является полностью наблюдаемой, если ранг матрицы наблюдаемости \mathbf{S} равен порядку системы n , т. е. если измерения $\mathbf{z}(t)$ содержат достаточную информацию для определения $\mathbf{x}(t_0)$. Матрица наблюдаемости \mathbf{S} имеет вид

$$\mathbf{S} = [\mathbf{H}^T | \mathbf{A}^T \mathbf{H}^T | (\mathbf{A}^T)^2 \mathbf{H}^T | \dots | (\mathbf{A}^T)^{n-1} \mathbf{H}^T]. \quad (2)$$

Если ранг матрицы наблюдаемости меньше порядка системы, то по измерениям $\mathbf{z}(t)$ можно оценить лишь часть вектора состояния $\mathbf{x}(t)$.

Система (1) называется полностью наблюдаемой на интервале времени $[0, t_1]$, если вектор состояния $\mathbf{x}(t_0)$ можно определить по известному вектору измерений $\mathbf{z}(t)$.

Система (1) называется полностью управляемой, если существует такое управление $\mathbf{u}(t)$, определённое на конечном интервале времени $[0, T]$, которое переводит систему из начального состояния $\mathbf{x}(t_0)$ в любое другое состояние $\mathbf{x}(t)$.

Сначала необходимо построить сопряжённую систему, которую затем исследовать с помощью какого-либо критерия наблюдаемости и управляемости. Сопряжённая система для системы (1) имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= -\mathbf{A}^T \mathbf{x}_c(t) - \mathbf{H}^T \mathbf{u}_c(t); \\ \mathbf{z}_c(t) &= \mathbf{B}^T \mathbf{x}_c(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Матрица наблюдаемости системы (1) является матрицей управляемости сопряжённой системы (3), и наоборот. Поэтому если система (1) полностью наблюдаема, то сопряжённая система будет полностью управляема. Это обстоятельство существенно расширяет методологический аппарат при исследовании проблемы наблюдаемости и управляемости многомерных динамических систем.

Критерий Калмана заключается в том, что система является полностью наблюдаемой, если ранг матрицы наблюдаемости равен порядку системы n , т. е. если измерения $\mathbf{z}(t)$ содержат достаточную информацию для

определения $\mathbf{x}(t_0)$. Если ранг матрицы наблюдаемости меньше порядка системы, то по измерениям $\mathbf{z}(t)$ можно оценить лишь часть вектора состояния $\mathbf{x}(t)$.

Матрица управляемости \mathbf{Y} системы (1) имеет вид

$$\mathbf{Y} = [\mathbf{B} \mid \mathbf{AB} \mid \mathbf{AB}^2 \mid \dots \mid \mathbf{AB}^{n-1}]. \quad (4)$$

Критерий Калмана подтверждает, что система является полностью управляемой, если ранг матрицы управляемости равен порядку системы n .

На практике часто встречаются случаи, когда уравнения объекта имеют явно выраженный нестационарный характер.

Рассмотрим линейную нестационарную систему вида

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{G}(t)\mathbf{w}(t), \quad (5)$$

а уравнение измерений имеет вид

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t), \quad (6)$$

где $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{G}(t)$, $\mathbf{H}(t)$ — линейные нестационарные матрицы.

Система уравнений (5) и (6) называется вполне наблюдаемой в момент t , если можно определить состояние системы $\mathbf{x}(t_0)$ из наблюдения выходной функции $\mathbf{z}(t)$ на интервале времени $[t_0, t]$.

В большинстве практических случаев размер вектора $\mathbf{z}(t)$ меньше вектора $\mathbf{x}(t)$, т. е. $m < n$ и уравнение (6) представляет собой систему m уравнений с n неизвестными. Поэтому значение вектора $\mathbf{z}(t)$ в момент t не даёт достаточной информации для восстановления вектора $\mathbf{x}(t)$. Нужно учесть информацию о векторе $\mathbf{z}(t)$ на отрезке $[t_0, t]$.

Рассмотрим нестационарную систему уравнений (5) и (6).

Вектор $\mathbf{z}(\tau)$ в момент $\tau \in [t_0, t]$ можно представить в виде

$$\mathbf{z}(\tau) = \mathbf{H}(\tau)\Phi(\tau, t)\mathbf{x}(t), \quad (7)$$

где $\Phi(\tau, t)$ — переходная матрица нестационарной системы (5).

Введём матрицу грамиана наблюдаемости $\mathbf{N}(t, t_0)$ [25]:

$$\mathbf{N}(t, t_0) = \int_{t_0}^t \Phi^T(\tau, t)\mathbf{H}^T(\tau)\mathbf{H}(\tau)\Phi(\tau, t)d\tau. \quad (8)$$

Для наблюдаемости системы уравнений (5) и (6) необходимо и достаточно существование момента $t_0 < t$, для которого матрица $\mathbf{N}(t, t_0)$ положительно определена, т. е. $\det \mathbf{N} \neq 0$.

При анализе нелинейных систем обычно используют различные способы линеаризации или эквивалентных преобразований. Как правило, наблюдаемость нелинейных систем исследуется в частных постановках задачи.

Представим нелинейную систему в эквивалентном виде: модель имеет структуру линейных дифференциальных уравнений с параметрами, которые зависят от состояния. Такое представление называют «расширенной линеаризацией» или «параметризацией состояния системы» (State Dependent Coefficient или SDC-представление) [27].

Критерий наблюдаемости в нелинейном случае аналогичен критерию наблюдаемости Калмана для линейных систем. Свойство дуальности [1] значительно расширяет методический аппарат при анализе наблюдаемости и управляемости.

Рассмотрим задачу принципиальной возможности идентификации. Для этого исследуем понятие параметрической идентифицируемости. Параметрическая идентифицируемость представляет собой возможность определения параметров математической модели системы по результатам измерения определённых выходных величин в течение некоторого интервала времени. Параметры, вектор которых в дальнейшем обозначается через \mathbf{a} , отличается от координат (вектор \mathbf{x}) скоростью изменения. Параметры считаются медленно изменяющимися величинами, а в идеальном случае — постоянными ($\dot{\mathbf{a}} = 0$).

В соответствии с этим уравнения для задачи параметрической идентифицируемости непрерывного процесса записываются в виде

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= f(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{a}, t); \\ \dot{\mathbf{a}} &= 0; \\ \mathbf{z} &= \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{a}, t). \end{aligned} \quad (9)$$

Исследуем локальное условие совместной наблюдаемости и идентифицируемости при вычислении производных \mathbf{z} по времени. Функция $u = u(t)$ в задаче идентифицируемости или наблюдаемости всегда считается известной (точно измеряемой). Что касается вектора состояния $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$, то он может считаться либо неизвестным (подлежащим определению по наблюдению той же векторной ве-

личины \mathbf{z}), либо непосредственно точно измеряемым. Данное условие относится к первому случаю, когда должно определяться условие наблюдаемости как \mathbf{x} , так и \mathbf{a} , что и является условием идентифицируемости.

Известны различные способы определения степени идентифицируемости [5–7]. Рассмотрим способ, предложенный Н.А. Балониным [5]. Модель линейной однородной системы имеет вид

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad (10)$$

где вектор состояния $\mathbf{x} \in R^n$, $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(0)$.

Линейная однородная система называется полностью идентифицируемой по вектору состояния, если при заданном векторе начальных условий \mathbf{x}_0 матрица параметров \mathbf{A} может быть однозначно восстановлена за конечный отрезок времени идентификации по одной временной последовательности $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$.

Критерий полной идентифицируемости пары $(\mathbf{A}, \mathbf{x}_0)$ имеет вид

$$\text{Rank}[\mathbf{W}_0] = \text{Rank}[\mathbf{x}_0, \mathbf{A}\mathbf{x}_0, \mathbf{A}^2\mathbf{x}_0, \dots, \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{x}_0] = n,$$

где \mathbf{W}_0 — матрица идентифицируемости.

А.В. Балакришнан исследовал линейную модель сигнала следующего вида [6]:

$$\begin{cases} v_n = \mathbf{C}\mathbf{x}_n + \mathbf{N}_n; \\ \mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_n + \mathbf{B}\mathbf{U}_n, \end{cases} \quad (11)$$

где \mathbf{B} — неизвестная матрица $n \times p$; \mathbf{A} и \mathbf{C} — известные матрицы $n \times n$ и $m \times n$; \mathbf{U}_n — входная последовательность $p \times 1$; дисперсия белого шума известна и наблюдаема.

Пусть дисперсия будет единичной. Задача заключается в том, чтобы оценить матрицу \mathbf{B} по последовательно наблюдаемым данным $\{v_n\}$, а не по всей выборке, при известной входной последовательности $\{\mathbf{U}_n\}$.

Предположения: матрица \mathbf{A} устойчива; $\|\mathbf{U}_n\| \leq M_u \leq \infty$; предел $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_1^N \|\mathbf{U}_n\|^2$ существует и конечен.

Решение исходной задачи:

$$\mathbf{x}_n = \mathbf{A}^n \mathbf{x}_0 + \sum_0^{n-1} \mathbf{A}^j \mathbf{B} \mathbf{U}_{n-1-j}. \quad (12)$$

Дальнейшее преобразование:

$$\mathbf{x}_n = \mathbf{A}^n \mathbf{x}_0 + \sum_0^{n-1} \mathbf{A}^j \tilde{\mathbf{U}}_{n-1-j} \mathbf{B} = \mathbf{A}^n \mathbf{x}_0 + \mathbf{K}_n \mathbf{B},$$

где $\mathbf{K}_n = \sum_0^{n-1} \mathbf{A}^j \tilde{\mathbf{U}}_{n-1-j}$.

Критерий идентифицируемости заключается в том, что предел $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_1^N \mathbf{K}_n^* \mathbf{C}_n^* \mathbf{C} \mathbf{K}_n$ существует и невырожден.

Условие определимости также накладывает ограничение на входную последовательность, т. е. при выполнении условия определимости (и устойчивости матрицы \mathbf{A}) ковариационная матрица погрешности $\mathbf{E}[(\mathbf{B} - \hat{\mathbf{B}}_n)(\mathbf{B} - \hat{\mathbf{B}}_n)^*] \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$.

Вычисление критерия идентифицируемости по данной методике предполагает сложные математические вычисления, поэтому применение его на практике затруднительно.

Рассмотрим критерий идентифицируемости С.А. Айвазяна [7], некоторые наиболее важные типы ограничений и приведём критерий идентифицируемости.

Предполагается, что априорные ограничения являются линейными однородными функциями, каждая из которых зависит только от коэффициента матрицы \mathbf{A} , могут быть однозначно восстановлены по матрице приведённой формы $\mathbf{\Pi}$.

Пусть \mathbf{I}_k — единичная матрица порядка $k \times k$.

Введём обозначение $\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{\Pi} \\ \mathbf{I}_k \end{bmatrix}$.

Соотношение $\mathbf{W}\mathbf{\Pi} + \mathbf{\Gamma} = 0$ между структурной и приведённой формой теперь может быть записано в виде $\mathbf{A}\mathbf{W} = 0$, где \mathbf{A} — матрица порядка $g \times (g+k)$; \mathbf{W} — матрица порядка $(g+k) \times k$.

Пусть $\alpha_1 \mathbf{\Phi} = 0$, где $\mathbf{\Phi}$ — матрица из $g+k$ строк, в которой количество столбцов равно количеству ограничений.

Первое уравнение системы идентифицируемо тогда и только тогда, когда $\text{rank}(\mathbf{A}\mathbf{\Phi}) = g-1$. Этот метод идентификации подходит скорее для теоретических абстрактных задач.

При анализе нелинейных моделей, так же как при оценке наблюдаемости, можно использовать SDC-метод. После SDC-представления нелинейная система называется вполне идентифицируемой в начальный момент времени t_0 на заданном отрезке времени идентификации, когда ей в соответствие может быть поставлена только одна стационарная система, близкая к исходной в смысле минимума

квадрата нормы разности векторов их фазовых скоростей.

Следует отметить, что задачи исследования наблюдаемости и идентифицируемости систем с параметрами, зависящими от состояния, общего конструктивного решения в настоящее время не имеют. При исследовании подобных систем можно ограничиться проверкой выполнения условий наблюдаемости «поточечно», т. е. для линеаризованной системы в окрестности исследуемого состояния.

Ещё одной характеристикой динамических систем является адаптивность. Общее определение адаптивности впервые в своей работе дал Л. Заде [28]. Адаптивность в той или иной степени присуща всем адаптивным системам.

Таким образом, представлены некоторые критерии определения таких характеристик, как наблюдаемость, управляемость и параметрическая идентифицируемость моделей. Эти критерии позволяют определить свойства моделей, но не дают информации об их качественных характеристиках. Для определения эффективности оценивания (наблюдения), управления и параметрической идентифицируемости разработаны специальные подходы и критерии.

Качественные характеристики моделей.

Обычно в практических приложениях необходимо знать возможность эффективного наблюдения и управления каждой конкретной компонентой вектора состояния. Для этого введены понятия степени наблюдаемости, управляемости, идентифицируемости, адаптивности и др.

Вопрос о том, что «не только наблюдаемы, а как наблюдаемы», впервые рассмотрен Р.Г. Брауном в 1966 г. [15]. После этого были предложены ещё несколько критериев степени наблюдаемости. Так, Х.Л. Аблин определил критерий степени наблюдаемости с помощью взаимного значения ошибок оценивания переменных вектора состояния и ошибок измерения [16]. Затем Ф.М. Хам и Р.Г. Браун доказали, что собственные числа и векторы ковариационной матрицы ошибок оценивания могут предоставить полезную информацию о наблюдаемости системы [17]. С точки зрения точности оценивания, степень наблюдаемости может быть определена соотношением дисперсии произвольной компоненты вектора состояния и дисперсии непосредственно измеряемого вектора состояния [14].

Формализованный способ получения оценок степени управляемости переменных со-

стояния исследуемого объекта разработал Н.Т. Кузовков в 1978 г. [4]. Критерий позволяет провести сравнительную оценку управляемости компонент одного вектора состояния модели исследуемого объекта. В 1979 г. Н.А. Парусников предложил критерий степени наблюдаемости, основанный на анализе канонической матрицы управляемости, позволяющий выделить слабоуправляемые компоненты вектора состояния [12]. Однако этот критерий также не позволяет проводить сравнение степеней управляемости компонент различных векторов состояния.

О.С. Салычев в 1987 г. на основе скалярного подхода обосновал способ повышения степени наблюдаемости конкретных переменных состояния путём уменьшения измерительного шума, приведённого к исследуемой компоненте [14]. В 1995 г. С.Н. Тарарыкин и В.В. Тютиков [18] предложили критерий оценки степени управляемости объекта, основанный на анализе распределения полюсов и нулей. В.М. Глумов, С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский и В.М. Суханов [19, 20] исследовали техническую управляемость динамических систем, а также зависимости коэффициентов эффективности управления и коэффициентов возбудимости от конструктивных параметров объекта. А.Н. Жирабок в 2007 г. исследовал степень управляемости динамическими объектами на основе применения изоморфного преобразования системы, похожего на преобразование, используемые в теории дифференциальной геометрии [21].

Одним из наиболее удобных в применении на практике является критерий степени управляемости, разработанный Фам Суан Фангом [23]. Численный критерий степени управляемости основан на вычислении оценки суммы элементов строки канонической матрицы управляемости, соответствующей исследуемой переменной состояния относительно максимальной суммы элементов строки этой матрицы. Критерий имеет ясный физический смысл, отличается простотой, универсальностью, позволяет определять качество управления компонент вектора состояния в виде скаляра, что очень удобно при использовании в практических приложениях.

Следует отметить, что данный критерий можно применять лишь при отсутствии кратных собственных значений системы. Однако сложность проведения предварительных преобразований ограничивает его применение в общем случае.

Скалярный подход и оценка степени наблюдаемости по двум характеристикам (точности оценивания и времени сходимости) позволили разработать целое семейство критериев степени наблюдаемости и идентифицируемости.

Когда не удаётся точно определить начальное значение дисперсии ошибки оценивания, можно воспользоваться критерием степени наблюдаемости вида

$$\lambda^i = \frac{M[(\mathbf{x}^i)^2]r}{M[(\mathbf{y}^i)^2]r^{*i}}, \quad (13)$$

где $M[(\mathbf{x}^i)^2]$ — дисперсия произвольной i -й компоненты вектора состояния; $M[(\mathbf{y}^i)^2]$ — дисперсия непосредственно измеряемого вектора состояния.

Дисперсия приведённого к i -й компоненте измерительного шума определяется коэффициентами a_1, a_2, \dots, a_n , т. е.

$$r^{*i} = [a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2]r, \quad (14)$$

где r — дисперсия исходного измерительного шума; a_1, a_2, \dots, a_n — i -я строка матрицы \mathbf{S}^{-1} .

Данная матрица существует, так как \mathbf{S} — матрица наблюдаемости. Этот критерий разработан для линейных стационарных моделей. В рамках использованного подхода Шэнь Кай разработал критерии степени наблюдаемости для нестационарных и нелинейных моделей [24, 29, 30]. Аналогичный методологический аппарат положен в основу критериев степени параметрической идентифицируемости для линейных стационарных [29], нестационарных [25] и нелинейных систем [26].

Степень адаптивности систем обычно оценивается путём анализа скорости протекания переходных процессов, которые являются реакцией на возмущения. Конкретные критерии степени адаптивности разработаны для отдельных практических приложений [31—33]. В работе [32] предложен критерий степени адаптивности мультиагентной системы, представляющий собой безразмерную величину, характеризующую скорость восстановления локального равновесия. Оценка степени адаптивности многопроцессорных систем часто характеризуется временем реакции системы на события поступления задач [33].

Исследования других качественных характеристик моделей носят фрагментарный характер и требуют дальнейших, более глу-

боких исследований и получения конкретных результатов в виде численных критериев.

Заключение. Представленный обзор критериев оценки качественных характеристик моделей не является исчерпывающим. Упомянуты способы оценки качества моделей, которые кажутся наиболее перспективными для использования и дальнейшего исследования.

Библиографические ссылки

1. **Воронов А.А.** Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. М.: Наука, 1979. 336 с.
2. **Эйкхофф П.** Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 680 с.
3. **Брайсон, Хо Ю Ши.** Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972. 544 с.
4. **Кузовков Н.Т., Карabanов С.В., Салычев О.С.** Непрерывные и дискретные системы управления и методы идентификации. М.: Машиностроение, 1978. 221 с.
5. **Балонин Н.А.** Теоремы идентифицируемости. СПб.: Изд-во «Политехника», 2010. 48 с.
6. **Балакришнан А.В.** Теория фильтрации Калмана / пер. с англ. М.: Мир, 1988. 168 с.
7. **Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.** Прикладная статистика: Исследование зависимостей: справ. изд. / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1985. 487 с.
8. **Yusupov R., Rozenwasser E.** Sensitivity of Automatic Control Systems. London etc.: CRS Press, 1999. 436 p.
9. **Ивановский Р.И., Игнатов А.А.** Теория чувствительности в задачах управления и оценки. СПб.: ЦНИИ «РУМБ», 1986. 112 с.
10. **Шмидт С.В., Белова Д.Ю., Калиев Б.З.** Применение функции чувствительности к энергетическим задачам // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии, 2012. URL: <http://www.jgline-electric.ru/articles.php?id=30> (дата обращения: 10.05.15).
11. **Ткаченко В.Н., Коротков Е.К., Поздняков Е.К.** Исследование исходных параметров метода определения дальности целей в пассивных многопозиционных системах при помощи функции чувствительности // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 8 (157). С. 170—177.
12. **Парусников Н.А., Морозов В.М., Борзов В.И.** Задача коррекции в инерциальной навигации. М.: МГУ, 1982.
13. **Богословский С.В., Дорофеев А.Д.** Динамика полёта летательных аппаратов: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2002.
14. **Салычев О.С.** Скалярное оценивание многомерных динамических систем. М.: Машиностроение, 1987. 216 с.
15. **Brown R.G.** Not just observable, but how observable? // National Electronics Conference Proceedings 22, 1966. P. 409—714.
16. **Ablin H.L.** Criteria for degree of observability in a control system // Retrospective Theses and Dissertations. Paper 3188. Iowa State University. 1967.

17. **Ham F.M., Brown R.G.** Observability, eigenvalues, and Kalman filtering // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1983. Vol. AES-19. Iss. 2. P. 269—273.

18. **Тарарыкин С.Н., Тютиков В.В.** Определение размерности вектора состояния при синтезе управляемых динамических систем // Известия вузов. Электромеханика. 1995. № 1—2. С. 69—74.

19. **Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Суханов В.М.** К вопросу о технической управляемости и декомпозиции лагранжевых систем с ограниченными управлениями // Автоматика и телемеханика. 2002. № 10. С. 13—33.

20. **Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Суханов В.М.** Техническая управляемость автоматизированного космического модуля // Автоматика и телемеханика. 2001. № 3. С. 31—44.

21. **Жирабок А.Н.** Анализ степени управляемости дискретных динамических систем // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2007. № 2. С. 7—14.

22. **Афанасьев В.Н., Неусыпин К.А.** Синтез адаптивного регулятора инерциальной навигационной системы // Техническая кибернетика. 1992. № 2.

23. **Неусыпин К.А., Фам Суан Фанг.** Численный критерий степени управляемости переменных состояния // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 7.

24. **Селезнева М.С., Шэнь Кай, Неусыпин К.А.** Исследование качественных характеристик наблюдаемости переменных состояния нестационарных моделей инерциальных навигационных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 5. С. 346—354.

25. **Селезнева М.С., Шэнь Кай, Неусыпин К.А., Пью Си Тху.** Разработка численного критерия степени идентифицируемости параметров нелинейных моделей атмосферных летательных аппаратов // Автоматизация. Современные технологии. 2018. Т. 72. № 5. С. 223—227.

26. **Kalman R.E., Ho Y.C., Narendra K.S.** Controllability of linear dynamical systems // Contributions to

the Theory of Differential Equations. 1963. Vol. I, No. 2. P. 189—213.

27. **Афанасьев В.Н.** Управление нелинейными неопределенными динамическими объектами. М.: Либроком/URSS, 2015. 224 с.

28. **Zadeh L.A.** On the definition of adaptivity // Proc. IEEE. 1963. Vol. 51. P. 469—470.

29. **Шэнь Кай, Неусыпин К.А.** Исследование критериев степеней наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости линейных динамических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 11. С. 723—731.

30. **Kai Shen, Neusyypin K.A., Proletarsky A.V.** On State Estimation of Dynamic Systems by Applying Scalar Estimation Algorithms // Proceedings of 2014 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference. 2014. Yantai, China. P. 124—129.

31. **Иванов В.П.** Оценка степени адаптивности особого управления для динамических систем // Евразийский научный журнал. 2015. № 12. С. 1—7.

32. **Скобелев П.О., Майоров И.В., Симонова Е.В., Царев А.В.** Об одном подходе к оценке степени адаптивности мультиагентной системы для управления ресурсами в реальном времени / В сб. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»: труды XVI междунар. конф. Института проблем управления сложными системами. Самарский научный центр РАН / Под ред. Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, В.А. Фитиха. 2014. С. 262—269.

33. **Lawrence Barsanti Angela C. Sodan.** Adaptive Job Scheduling Via Predictive Job Resource Allocation. In: Job Scheduling Strategies for Parallel Processing // Lecture Notes in Computer Science. 2007. Vol. 4376. P. 115—140.

Ссылка для цитирования

Неусыпин К.А. Способы определения качественных характеристик моделей динамических систем // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 71—77.

Требования к оформлению библиографических ссылок

Список литературных источников, на которые делаются ссылки в тексте статьи, составляется в порядке цитирования и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1—2003 и ГОСТ Р 7.0.5—2008 (указываются фамилии и инициалы авторов, точное название книги или сборника, издательство, год и место издания, количество страниц в книге, а для журнальных статей — фамилии и инициалы авторов, название статьи, название, год выхода и номер журнала, страницы размещения статьи). При ссылке на электронные ресурсы обязательно указывать дату обращения, например, 26.06.2017. Ссылки на иностранную литературу даются на языке первоисточника без сокращений. Согласно требованиям зарубежных баз данных, список литературных источников необходимо также транслитерировать на латинский шрифт (фамилия и инициалы авторов, название источника публикации и место издания), при этом технические сокращения должны быть переведены с использованием общепринятых обозначений (номер — No., том — Vol., страница — P. и т. п.). Для транслитерации русскоязычных наименований можно воспользоваться сервисом <http://translit.ru/>.

УДК 681.513

Ж. Чжоу, Н.Ю. Рязанова, канд. техн. наук, доц., **К.А. Неусыпин**, д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ПОСАДКЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА АВИАНОСЕЦ В АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ

*Исследовано движение по глиссаде беспилотного летательного аппарата при посадке на авианосец. Реализация данной задачи осуществляется в условиях радиомолчания авианосца. Разработан алгоритм обработки информации от оптической системы посадки, установленной на авианосце. Алгоритм распознавания цветных сигналов предполагает использование метода предварительной обработки кадра изображения с помощью функции *downsample*, выполняющей процесс децимации, модели HSV, алгоритма Оцу вычисления порога бинаризации для полутонового изображения и метода выделения связанных компонентов *Two-Pass*.*

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; авианосец; заход на посадку; глиссада; оптическая система посадки; алгоритм распознавания цветных сигналов; децимация; связанные компоненты; бинаризация полутонового изображения.

*The movement along the glide path of an unmanned aerial vehicle during landing on an aircraft carrier is investigated. The implementation of this task is realized in the conditions of radio silence of the aircraft carrier. The algorithm for treatment information from an optical landing system installed on an aircraft carrier is developed. The algorithm of the color signal recognition assumes the usage of the image frame preliminary treatment method via a *downsample* function, that performs the decimation process, the HSV model, the Otsu's method for calculating the binarization threshold for a half-tone image, and the method of separating the connected *Two-Pass* components.*

Keywords: unmanned aerial vehicle; aircraft carrier; approach; glide path; optical landing system; color signal recognition algorithm; decimation; connected components; half-tone image binarization.

Введение. В России и Индии эксплуатируются тяжёлые авианесущие крейсера (ТАКР) проекта 1143, на которых используются самолёты Су-33, МиГ-29КР, МиГ-29КУБР, МиГ-29К и МиГ-29КУБ [1]. Взлёт и посадка летательных аппаратов (ЛА) в условиях движения авианосца являются наиболее сложными элементами при эксплуатации и обуславливают дополнительные требования к бортовому оборудованию и алгоритмическому обеспечению ЛА.

Посадка ЛА на движущийся авианосец является наиболее опасным манёвром. В процессе подготовки к заходу на посадку ЛА должен выйти в заданную область пространства с высокой точностью, а затем выполнить движение по глиссаде и посадку на палубу авианосца. Выход в заданную область пространства осуществляется с помощью навигационного комплекса ЛА, снабжённого высокоточным алгоритмическим обеспечением. Навигационный комплекс включает инерциальную навигационную систему, приёмник GPS и другие измерительные системы, а также алгоритмы

коррекции навигационных систем, например адаптивный нелинейный фильтр Калмана [2]. Полёт по глиссаде осуществляется с помощью оптической системы посадки: лётчик управляет ЛА по информации с блока указательных огней системы, установленной на авианосце. Таким образом, оптическая система посадки позволяет ЛА держаться на глиссаде. Последний этап — посадка на палубу реализуется с использованием аэрофинишёров. ЛА цепляется за 4 троса, которые замедляют его движение по палубе до остановки.

Выполнение перечисленных этапов при посадке беспилотного ЛА (БЛА) на движущийся авианосец осложняется отсутствием действий лётчика, особенно на участке движения по глиссаде. Автоматическое удержание БЛА на глиссаде осуществляется по информации с оптической системы посадки. Использование радиосигналов для обеспечения движения БЛА по глиссаде не представляется возможным, так как приводит к обнаружению местоположения авианосца средствами противника.

Для безопасного автономного движения БЛА необходимо распознавать сигналы оптической системы в реальном масштабе времени по изображениям, поступающим от камеры, которая устанавливается на борту БЛА. Особенности сигналов, формируемых оптической системой посадки, а именно их цветная составляющая, являются определяющими для выбора метода распознавания.

Обработке цветных оптических изображений посвящены многие работы [3—5], однако большинство разработанных алгоритмов предназначены для автоматического управления беспилотными автомобилями и использования в автоматических системах железнодорожного транспорта. Эти алгоритмы отличаются высокой точностью, но требуют повышенной производительности бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ). Алгоритм распознавания цветных изображений оптической системы посадки на авианосец должен работать в реальном времени и потреблять незначительные вычислительные ресурсы спецвычислителя или БЦВМ БЛА. Поэтому разработка простого компактного и быстродействующего алгоритма распознавания цветных изображений является актуальной задачей для реализации посадочной операции беспилотной палубной авиации.

Перспективы дальнейшего исследования в данной области связаны с совершенствованием алгоритмического обеспечения системы управления БЛА авианосного базирования для осуществления посадки в условиях резких ветровых возмущений, обусловленных спутным следом авианосца, а также при сильном волнении моря [6—9].

Цветовые особенности сигналов оптической системы. Особенности сигналов, формируемых семафорами, а именно их цветная составляющая, являются определяющими для выбора метода распознавания.

Цветовое пространство — это модель представления цвета, основанная на использовании цветных координат. Основная задача цветных моделей — сделать возможным задание цветов унифицированным образом. Цветовые модели задают определённые системы координат, которые позволяют однозначно определить цвет. Как известно, цветовые пространства описываются набором цветных координат и правилами построения цветов. Количество координат задаёт размерность пространства. Например, самая известная цветовая модель RGB представляется

в виде трёхмерного цветового пространства, с помощью которого любой цвет описывают набором трёх координат (каждая координата соответствует одному компоненту цвета в разложении на красный, зелёный и синий цвета). Уровни цветов распределены в пределах от 0 до 255 (или при нормализации от 0 до 1), а три оси координаты совпадают с тремя цветами. Таким образом, чёрный цвет находится в координате (0, 0, 0), а белый цвет — в координате (255, 255, 255). Любая целочисленная точка в данной системе координат является одним допустимым цветом в цветовом пространстве RGB.

На практике часто применяется производное цветовое пространство — CIE XYZ, в котором используются относительные цветные координаты, вычисляемые по следующим формулам:

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X + Y + Z}; \\ y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \\ z = \frac{Z}{X + Y + Z}. \end{cases} \quad (1)$$

Очевидно, что $x + y + z = 1$. Для однозначного задания относительных координат достаточно любой пары значений, а соответствующее цветовое пространство может быть представлено в виде двумерного графика (рис. 1).

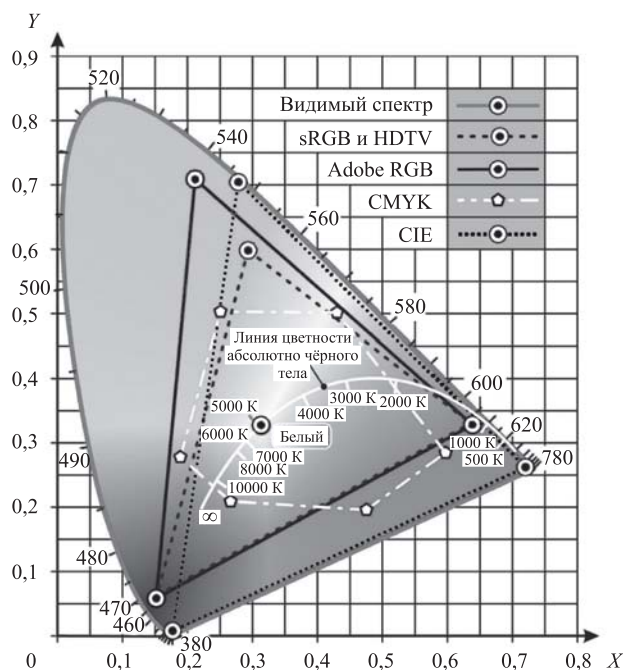


Рис. 1. Диаграмма цветности CIE XYZ

Таким образом, новая модель может отображать большее количество цветов, воспринимаемых человеческим глазом. Система CIE XYZ создана путём математических трансформаций системы CIE RGB и базируется на тех же принципах — любой цвет можно точно определить величиной трёх излучений, смесь которых воспринимается человеком как цвет. Основное отличие системы XYZ — цвет её основных «излучений» существует только в колориметрических уравнениях, и получить их физически невозможно. Система XYZ существенно облегчает расчёты. Координаты цвета и цветности всех возможных световых излучений будут положительными в отличие от RGB. Также координата цвета Y непосредственно выражает фотометрическую яркость при восприятии [10].

Система CIE XYZ положена в основу ГОСТ Р 52282 — 2004 «Светофоры дорожные». Данный стандарт представляет собой диаграмму цветов светофора, показанную на рис. 2.

В 1976 г. было разработано цветовое пространство CIE LAB (также известно как CIE $L^*a^*b^*$ или просто Lab). Основной целью при разработке Lab было устранение нелинейности системы CIE XYZ с точки зрения человеческого восприятия. Под аббревиатурой Lab иногда понимается цветовое пространство Hunter Lab, которое предложено в 1948 г. Для того, чтобы отличить эти два метода, CIE LAB принимает

в качестве координат L^* , a^* и b^* . В системе CIE LAB координата L^* означает светлоту (в диапазоне от 0 до 100), координаты a^* и b^* определяют позицию между зелёным и пурпурным, а также синим и жёлтым цветами. Формулы для преобразования с CIE XYZ в CIE LAB имеют следующий вид:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,7689 & 1,7518 & 1,1302 \\ 1,0000 & 4,5907 & 0,0601 \\ 0,0000 & 0,0565 & 5,5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix};$$

$$L^* = \begin{cases} 116f\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} - 16\frac{Y}{Y_0} > 0,008856; \\ 903,3f\left(\frac{Y}{Y_0}\right)^{\frac{1}{3}} \frac{Y}{Y_0} \leq 0,008856; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) \right]; \\ b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \right], \end{cases}$$

где X_0 , Y_0 , Z_0 — координаты точки белого в пространстве CIE XYZ.

Цветовое пространство HSV (HSB) в отличие от рассмотренных оперирует такими компонентами, как цветовой тон по модели RGB — H, насыщенность — S, яркость — V. В модели RGB составляющая яркости отсутствует, а в модели CIE она добавляется как третье измерение. Трёхмерная цветовая модель HSV в простейшем виде представляется в виде цилиндра, но чаще используется модель в виде конуса (рис. 3).

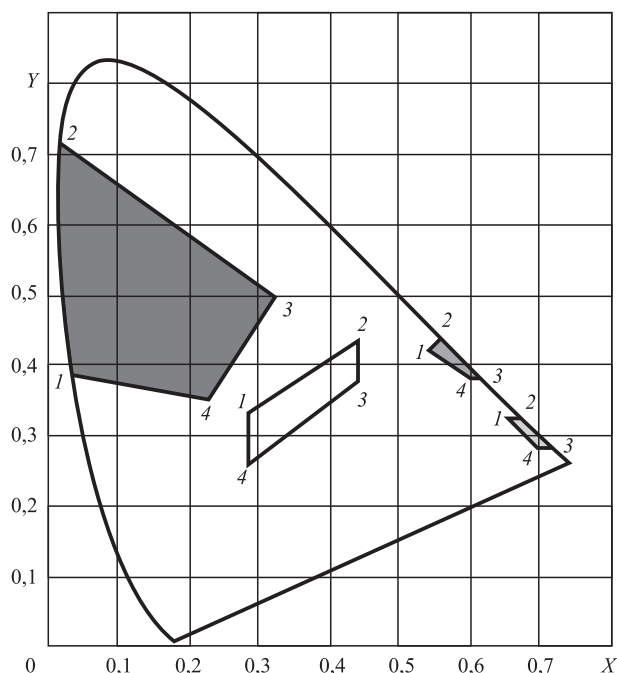


Рис. 2. Границы цветовых областей выходной апертуры светофора

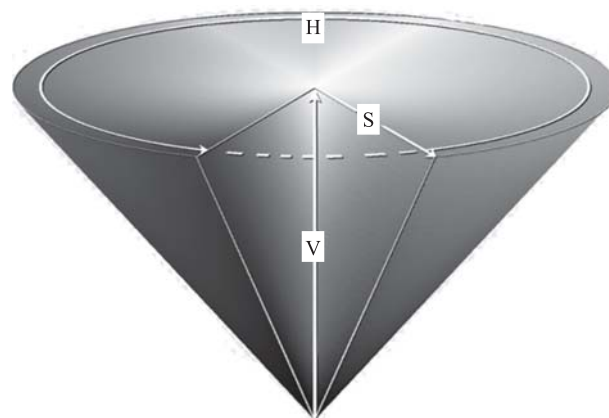


Рис. 3. Модель HSV

Преобразование пространства RGB в пространство HSV выражается следующими формулами:

$$\begin{aligned}
 V &\leftarrow \max(R, G, B); \\
 S &\leftarrow \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & V \neq 0; \\ 0, & \text{otherwise;} \end{cases} \\
 H &\leftarrow \begin{cases} 60(G - B)/(V - \min(R, G, B)), & V = R; \\ 120 + 60(B - R)/(V - \min(R, G, B)), & V = G; \\ (H \leftarrow H + 360, H < 0); \\ 240 + 60(G - B)/(V - \min(R, G, B)), & V = B, \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

где параметры R, G, B изменяются в пределе от 0 до 1.

Требования к алгоритму распознавания. Алгоритм распознавания должен соответствовать следующим требованиям: время для распознавания, т. е. допустимый временной интервал для задания управляющего воздействия, который определяется скоростными характеристиками БЛА; точность распознавания, обеспечивающая безопасность движущего БЛА; универсальность или адаптируемость к различным условиям (погода, время суток и т. п.).

Для сокращения времени, необходимо для распознавания, из кадра выделяются

определённые фрагменты, содержащие нужную информацию. При распознавании оптических систем типа светофоров на изображении выделяются участки, соответствующие определённому шаблону. Время обработки изображения можно сократить, используя методы предварительной обработки изображения. Таким образом, задачу распознавания можно разделить на три этапа:

предварительная обработка изображения; сегментация изображения, т. е. нахождение областей, соответствующих заданным шаблонам;

выделение светофора из найденных областей и определение его значения.

Метод предварительной обработки. Изображение светофора может появляться в разных местах кадра. Цифровая видеочка формирует 24 кадра в секунду, которые должны быть обработаны. Чтобы сократить объём вычислений и памяти для хранения кадров, предлагается применить для входных изображений децимацию (прореживание отсчётов), а именно, децимацию с использованием фильтра КИХ, приводящую к образованию нового изображения путём выбора пикселя из набора соседних. Для этого можно использовать функцию `downsample`, выполняющую процесс децимации. Подобный алгоритм хорошо отработан на практике для автоматического управления движением электропоездов при обработке сигналов светофора. Пример работы функции показан на рис. 4.

После децимации при выборке из 9 пикселей возможность распознавания сохраняется, а объём данных сокращается в 9 раз.

После этапа предварительной обработки выполняется процесс выделения значимых областей. Поскольку цвет представляет главное отличие светофора от фона, сегментация изображения производится по цвету (по гистограмме).

Метод цветовой сегментации изображений. Качество сегментации изображений по цвету в значительной мере определяется выбором цветовой модели. Для пространства RGB характерна неравномерность, которая, очевидно, имеется и у пространства CIE XYZ. Неравномер-

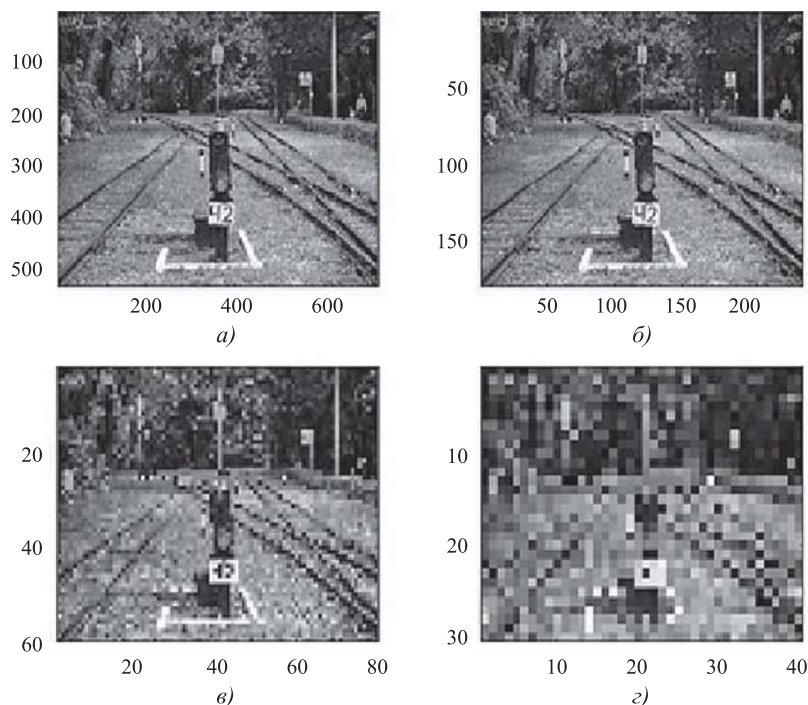


Рис. 4. Пример децимации изображения светофора:

a — оригинал; *b* — понижающая дискретизация на $N = 3$; *c* — понижающая дискретизация на $N = 9$; *d* — понижающая дискретизация на $N = 18$

ность (значит разность цветов) в соответствии с определённым расстоянием в диаграмме цветности (см. рис. 1) является неодинаковой. Поэтому при использовании RGB или CIE XYZ между изменениями расстояний до целевого объекта и соответствующими разностями цветности будет нелинейная связь, что приведёт к увеличению времени расчёта [3].

Следует заметить, что в пространстве RGB скрыта информация о яркости. По сравнению с ним, в системах HSV и Lab яркость является отдельным параметром, благодаря чему их параметры не зависят друг от друга. Очевидно, что отдельный параметр, управляющий цветностью, позволяет сократить время распознавания. Для модели RGB необходимо установить пороговые значения для трёх параметров, а для модели HSV — только для одного.

В процессе цветовой сегментации при использовании только одного параметра (цветового тона) цветового пространства в условиях сложного фона скорее всего не будет получен нужный результат. Поэтому при цветовой сегментации зачастую налагают порог на все параметры цветового пространства. Однако модель HSV строится на основе RGB и для определения порога цветового тона (H) используются пороговые значения для красного, зелёного и синего цветов.

Оптическая система посадки (как и светотвор) — это светящийся объект, следовательно, он отличается от фона свойствами насыщенности и яркости. Однако при движении фон изображения постоянно меняется, поэтому трудно определить единственные и стандартные пороги, обеспечивающие качество сегментации при всех ситуациях. Следовательно, надо найти адаптивный метод сегментации по насыщенности и яркости.

Метод Оцу, называемый в честь японского учёного Ноубуки Оцу [11], представляет собой алгоритм вычисления порога бинаризации для полутонового изображения. Метод отличается способностью к автоматической подстройке к заданному изображению. Основной идеей метода Оцу является нахождение оптимального порога, позволяющего дисперсии между задним и передним планами достигать максимальной величины. Оттенок серого, по которому получается наибольшая дисперсия, считается оптимальным порогом для бинаризации. Процесс расчёта методом Оцу выполняется по формуле

$$g = \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2 + \omega_2 (\mu_2 - \mu)^2, \quad (4)$$

где g — дисперсия при текущем пороге; ω_1, ω_2 — удельный вес двух групп пикселей при текущем пороге; μ_1, μ_2 — средний оттенок серого двух групп пикселей при текущем пороге.

Метод Оцу предназначен для изображений, которые включают как минимум две степени яркости, что особенно важно для распознавания в реальных условиях, когда в кадре присутствует множество источников света.

Метод выделения связных компонентов. В результате применения описанного метода получается набор выделенных областей, среди которых необходимо найти светотворы. Для этого используются шаблоны формы. Чтобы выделить нужные объекты, шаблоны формы описывают соотношением сторон и площади, которые получаются путём вычисления количества пикселей и длины вектора-строки или вектора-столбца. Для того чтобы отличить пиксели, принадлежащие выделенным областям, применяют метод выделения связных компонентов.

В описании метода используются также понятия, как смежность, связность, область, границы. Смежность состоит в отношении между соседними пикселями. Например, в бинарном изображении значение яркости пикселя равно 1, следовательно, смежными считаются соседние пиксели с единичным значением яркости. Окрестность смежности бывает двух типов: 4-смежность и 8-смежность. В первом случае смежными считаются только пиксели, находящиеся внизу,верху, справа и слева от данного пикселя, а во втором — рассматриваются все направления. Дискретным путём (или кривой) от пикселя p до пикселя q называется неповторяющаяся последовательность пикселей с координатами p и q . Координаты p и q являются связными, если все пиксели, составляющие этот дискретный путь, относятся к одному подмножеству пикселей изображения S .

Метод Two-Pass позволяет определить связные компоненты, при этом все пиксели проверяются два раза. Алгоритм определения связных компонент выполняется за два этапа [12].

Первая проверка — если значение яркости текущего пикселя равно единице, то необходимо:

- а) присвоить ему новую метку, начиная с единицы, если нет ни одного связанного с ним соседнего пикселя;
- б) присвоить ему наименьшую из меток, связанных с ним пикселей, после чего зафиксировать метку.

сировать данное состояние (все метки, расположенные выше, считаются адекватными).

Вторая проверка — если метка текущего пикселя больше, чем единица, то следует её заменить наименьшей меткой, которая совпала с меткой из п. б первой проверки; затем связные области исследуются на соответствие следующим ограничениям:

$$\begin{cases} \frac{\text{width} - \text{length}}{\text{width} + \text{length}} < 0,1; \\ 0,8 \frac{\pi}{4} < \frac{\text{Area}}{\text{width} \cdot \text{length}} < 1,1 \frac{\pi}{4}, \end{cases} \quad (5)$$

где width и length — длина и ширина наименьшего прямоугольника, содержащего все пиксели данного связанного компонента; area — количество пикселей, содержащихся в данном связанном компоненте.

При проведении моделирования для выделения связных компонент или областей можно использовать функцию bwnlabel (в среде matlab) и приписывать к ним разные метки. С помощью функции regionprops можно вычислить все свойства найденных связных компонент.

Моделирование показало, что метод связных компонент улучшает результат распознавания, особенно на фоне, похожем на один из цветов сигналов светофора (рис. 5).

Постоянно работающая камера формирует на выходе видеопоток. Повторять все перечисленные операции для каждого кадра не эф-

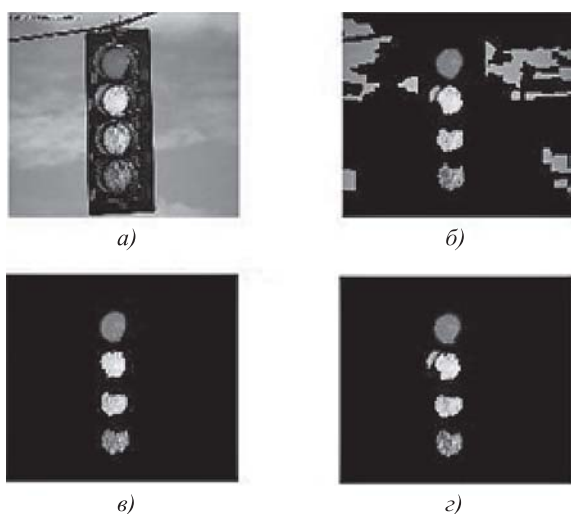


Рис. 5. Результат тестирования выделения связных компонент:

а — оригинал; б — цветовая сегментация; в — после выделения связных компонент; г — цветовая сегментация при $0,61 < N < 0,98$ (синий цвет)

фективно. Полный поиск в кадре может быть выполнен один раз на серию кадров, а в следующих кадрах серии анализируются только области интереса. Количество кадров в серии, очевидно, зависит от скорости движения камеры. Сокращение объёма обрабатываемой информации позволяет использовать предлагаемый алгоритм в режиме реального времени.

Заключение. Исследована задача обработки информации от оптической системы при выполнении посадки БЛА на движущийся авианосец. Обычно алгоритмы анализа цветных изображений отличаются высокой точностью, но не способны работать в реальном времени или требуют повышенной производительности спецвычислителя и БЦВМ БЛА. Разработанный компактный быстродействующий алгоритм распознавания цветных изображений основан на использовании метода предварительной обработки — функции downsample, выполняющей процесс децимации модели HSV, метода Оцу (алгоритма вычисления порога бинаризации для полутонового изображения) и метода Two-Pass (выделения связных компонент).

Результаты моделирования продемонстрировали работоспособность и достаточно высокую эффективность разработанного алгоритма. Существенного сокращения времени реализации алгоритма удаётся достичь за счёт использования функции децимации и модели HSV. Объединение кадров в серии не только улучшает качество распознавания, но и способствует решению поставленной задачи в реальном масштабе времени.

Разработанный алгоритм позволяет осуществлять посадку БЛА на движущийся авианосец с использованием камеры и оптической системы посадки.

Библиографические ссылки

1. Никулин А.С., Алексеев А.Н., Ангуладзе В.А. и др. Комплекс средств, обеспечивающих подготовку к вылету и посадку самолётов авианосного базирования // Авиакосмическое приборостроение. 2018. № 2. С. 36.
2. Shakhtarin B.I., Shen K., Neusyypin K.A. Modification of the nonlinear kalman filter in a correction scheme of aircraft navigation systems // Journal of communications technology and electronics. 2016. Vol. 61. No. 11. P. 1252.
3. Chunhe Yu., Chuan Huang, Yao Lang. Traffic Light Detection During Day and Night Conditions by a Camera / ICSP 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing, Washington, DC // IEEE Press, 2010. P. 821—824.

4. **Иванов Ю.А.** Разработка локомотивной системы технического зрения: дис. ... канд. техн. наук. Московский авиационный институт. 2014. С. 53—55.

5. **Comaniciu D., Meer P.** Mean shift analysis and applications // IEEE International Conference on Computer Vision. 1999. Vol. 2. P. 1197.

6. **Бородай И.К.** Краткосрочное прогнозирование процессов качки корабля с учётом ошибок измерений: труды Крыловского гос. науч. центра. 2017. № 2(380). С. 9—16.

7. **Marple Jr., Lawrence S.** Digital spectral analysis: with applications // The Journal of the Acoustical Society of America. 1989. No. 86(5). P. 2043.

8. **Ткаченко О.И., Ковтун С.А., Дубов Ю.Б.** Использование прогноза качки для обеспечения безопасности взлёта и посадки самолётов корабельного базирования: труды XXVI Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. Сб. материалов. 27—28 мая 2019 г. Санкт-Петербург, Россия. Гос. науч. центр «Концерн Электронприбор». С. 26—28.

9. **Корняков А.А., Аубакиров Т.О.** Исследование вихревого следа за авианесущим кораблём // Научный вестник Московского гос. техн. ун-та гражданской авиации. 2012. № 177. С. 24—28.

10. **Горьков А.** О цветовых пространствах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/181580/> (дата обращения: 11.09.2019).

11. **Otsu N.** A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Trans Systems Man Cybernet. 1979. No. 9(1). P. 62—66.

12. **Wu K., Otoo E., Suzuki K.** Optimizing two-pass connected-component labeling algorithms // Pattern Analysis & Applications. 2009. Vol. 12. No. 2. P. 206—220.

Ссылка для цитирования

Чжоу Ж., Рязанова Н.Ю., Неусыпин К.А. Алгоритм распознавания цветовых сигналов при посадке беспилотного летательного аппарата на авианосец в автономном режиме // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 78—84.

УДК 004.032.26

Р.Н. Ермаков, канд. биол. наук
(Научно-исследовательский институт «Масштаб», г. Санкт-Петербург)

romul151925@mail.ru

РАСПОЗНАВАНИЕ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ И ПРИЛОЖЕНИЙ ПРИКЛАДНОГО УРОВНЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И АЛГОРИТМОВ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМАХ АНАЛИЗА ТРАФИКА

Рассмотрен новый эффективный подход к анализу сетевого трафика для определения сетевого протокола (или приложения) прикладного уровня. Дано краткое описание структуры алгоритма классификации сетевых пакетов на принадлежность к одному из известных сетевых протоколов. Применены алгоритмы нечёткой логики и нейронные сети. Показаны результаты тестирования построенного программного модуля, способного идентифицировать сетевые протоколы информационного обмена и приложения прикладного уровня.

Ключевые слова: классификация сетевых приложений; искусственные нейронные сети; логистическая регрессия; анализ сетевого трафика; глубокий анализ пакетов; нечёткая логика; анализ сетевого трафика.

A new effective approach to the analysis of network traffic to determine the network report (or enclosure) of the application level is considered. A brief description of the algorithm structure for classifying network packets as belonging to one of the known network report is given. Fuzzy logic algorithms and neural networks are applied. The test results of the constructed software module capable of identifying network reports for information exchange and application level enclosures are shown.

Keywords: classification of network applications; artificial neural networks; logistic regression; analysis of network traffic; profound analysis of packets; fuzzy logic; analysis of network traffic.

Введение. В последние годы наблюдается особый интерес операторов телекоммуникационного рынка к системам анализа сетевого

трафика network traffic analysis (NTA), глубокой инспекции пакетов (DPI) и обеспечения комплексной информационной безопасности.

В дальнейшем его рост будет продолжаться, особенно для систем обеспечения информационной безопасности, использующих современные интеллектуальные математические модели и методы.

Анализ трафика в течение многих лет остаётся актуальным направлением исследований. Этому способствуют две основные причины: рост трафика (в том числе вредоносного) и появление новых технологий.

Разработано и эксплуатируется множество систем обеспечения информационной безопасности, к которым можно отнести:

системы управления правами доступа (Identity Management — IDM);

системы контроля действий администраторов (Privilege Accounts Management — PAM);

развитые межсетевые экраны (Next Generation Firewalls — NGFW);

средства анализа защищённости (Security Information and Event Management — SIEM);

антивирусные решения (Antivirus, Antibot, Malware Protection — AV);

системы обнаружения вторжений и аномалий (Intrusion Detection System — IDS, Application protocol-based IDS — APIDS);

системы предотвращения атак (Intrusion Prevention System — IPS);

системы аудита и мониторинга средств безопасности (Security Information and Event Management — NMS);

системы защиты от атак класса «Отказ в обслуживании» (DDoS Protection Systems — DDoS PS);

системы управления политикой сетевого трафика (Policy and Charging Enforcement Function — PCEF, Policy and Charging Rules Function — PCRF, Network Access Control — NAC) и др.

Системы анализа трафика NTA являются необходимым инструментом многих представленных классов других систем обеспечения информационной безопасности (таких как IDS, IPS, NMS, DDoS PS и др.).

Идентификация протоколов инфокоммуникационного обмена позволяет решать следующие типы задач:

разработка датчиков обнаружения атак [1], аномального и (или) поддельного трафика;

идентификация типов устройств [2], задействованных в информационном обмене;

определение типовых приложений, запущенных на устройствах, задействованных в процессе информационного обмена;

создание датчиков обнаружения аномального или поддельного трафика (в случае выдачи одного протокола за другой протокол);

классификация сетевых приложений прикладного уровня вплоть до седьмого уровня модели OSI (SKYPE, Facebook, Viber и др.).

В настоящее время в целях обеспечения информационной безопасности ведутся обширные исследования и поиск новых способов определения DDoS-атак. Как правило, эти способы опираются на выявление сетевых активностей и аномалий [2]. Подобные задачи можно также эффективно решать и с использованием классификатора сетевых пакетов (КСП) прикладного уровня. Вначале с использованием КСП могут быть классифицированы протокол информационного обмена и типы устройств, задействованные при обмене. Далее могут быть выявлены приложения на устройствах информационного обмена и затем сетевые приложения прикладного уровня. Такой способ определения потенциальных сетевых угроз не является высокоскоростным. Однако он может быть очень эффективным в рамках тестовой среды для проведения полноценных комплексных исследований в задачах идентификации DDoS-атак.

Кроме того, КСП прикладного уровня может быть полезен при распознавании внутреннего состояния, в котором может находиться тот или иной протокол в процессе информационного обмена на этапе handshake (рукопожатия), что является важным элементом поведенческого анализа.

Классификация трафика может быть осуществлена на основе:

а) использования традиционных подходов к анализу трафика (сигнатурный и поведенческий) в зависимости от того, зашифрован трафик или нет [3], с учётом анализа номеров портов пакетов, сигнатуры протокола, статистических характеристик обмена пакетами между абонентами и статистических свойств сетевого трафика (исследование последовательности размеров пакетов, временных интервалов между пакетами и т. д.);

б) применения известных математических методов и подходов — базовых статических алгоритмов, машинного обучения (методы опорных векторов и случайных лесов [4]), алгоритмов нечёткой логики, методов теории нейронных сетей и др.;

в) применения новых математических моделей, алгоритмов и методик классификации (исследуется в настоящей работе).

Качественный анализ сетевых пакетов приложений прикладного уровня, как в плане характеристик классификации (точность, время, надёжность и др.), так и в плане уменьшения требований к вычислительной мощности, оказывает существенное влияние на функционирование систем NTA [5], DPI, IDS/IPS [6], DDoS PS [7] и др., а также на весь технологический процесс и качество анализа.

По уровню классификации сетевых пакетов различают: «поверхностный» анализ пакетов (Shallow Packet Inspection — SPI), «средний» анализ пакетов (Medium Packet Inspection — MPI) и «глубокий» анализ пакетов (Deep Packet Inspection — DPI). Анализаторы «поверхностного» уровня функционируют в простейших межсетевых экранах, где решение о блокировании того или иного пакета обычно принимается в соответствии со списком запрещённых IP-адресов и номеров портов. Программные средства анализа трафика, относящиеся к «среднему» уровню, позволяют проводить фильтрацию трафика с использованием информации о формате передаваемых данных, а также более полной локализации отправителя. Эти инструменты обычно выступают в роли посредника (проху) между провайдером доступа к Интернету и внутренней сетью. Системы «глубокого» анализа пакетов предназначены для идентификации приложений, участвующих в сетевых взаимодействиях. Поэтому «углублённый» разбор предполагает анализ содержимого сетевых пакетов всех уровней. Это обеспечивает информационную безопасность и мониторинг качества каналов связи.

Как правило, для анализа сетевого трафика исследователи определяют протокол прикладного уровня с использованием алгоритмов машинного обучения «с учителем» [4, 8, 9]. В работе [4] задача классификации решалась методом опорных векторов и с помощью алгоритма «случайных лесов». Результаты исследований на тестовых выборках показали, что оба подхода приводят к высокой верности классификации (98 % и выше). Однако в ней ничего не сказано о среднем времени классификации пакетов алгоритмами на конкретных аппаратных платформах и операционных системах. Остаётся вопрос, можно ли использовать такие «тяжеловесные» алгоритмы классификации в реальных системах анализа трафика с учётом предъявляемых требований по вычислительной производительности? Для классификации сетевых пакетов в настоящей

работе использовались алгоритмы нечёткой логики (модель Мамдани) и методы машинного обучения, в частности, нейронные сети, а именно, логистическая регрессия.

Разработка классификатора сетевых пакетов состояла из четырёх этапов:

- 1) мониторинг и сбор пакетной статистической информации наиболее известных протоколов сетевого трафика;
- 2) предобработка первичной пакетной статистической информации;
- 3) построение классификатора сетевых пакетов;
- 4) тестирование.

Постановка задачи классификации трафика. Данную задачу можно сформулировать следующим образом. Имеется множество исследуемых объектов — IP-пакетов прикладного уровня:

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_w\}, \quad (1)$$

где P_w — классифицирующийся пакет из последовательности пакетов (трафика) размерностью W .

Каждый объект (IP-пакет) характеризуется набором переменных (атрибутов):

$$P_w = \{X_1^w, X_2^w, \dots, X_{10}^w, H_j^w, H_{j+n}^w, H_{j+n+\dots+k}^w\}; \quad (2)$$

$$Z = \{Z_1, Z_2, Z_3\}, \quad (3)$$

где X_n^w — наблюдаемый n -атрибут w -пакета, область допустимых значений которого содержится в RFC (Request for comments); H_j^w — байтовая последовательность *Payload_hex* размером J ; Z — зависимое множество, которое необходимо определить.

Множество Z включает: тип протокола — Z_1 , тип сетевого приложения — Z_2 , внутреннее состояние протокола в процессе информационного обмена — Z_3 .

При этом каждая переменная X_n принимает значение из некоторого множества:

$$X_n = \{Xn_1, Xn_2, \dots, Xn_M\}, \quad (4)$$

где Xn_M — варианты значений атрибутов.

Таким образом, задача классификации сводится к определению множества Z на основе значений атрибутов последовательности пакетов.

Решая прикладную задачу, определим наиболее подходящие атрибуты пакета. В исследо-

Таблица 1

Вариант последовательности пакетов в сетевом трафике

N	Ethernet Type	Source IP Address	Destination IP Address	Multicast	IP proto	Packet length	Src port	Dst port	Type proto	Hex length	Hex stream
0	0 × 0,800	172.16.0.1	172.16.0.10	0	6	73	53986	21	FTP	7	504153
1	0 × 0,800	172.16.0.1	172.16.0.10	0	6	72	53986	21	FTP	6	4c4953
2	0 × 0,800	172.16.0.1	172.16.0.10	0	6	90	53986	21	FTP	24	504f52
3	0 × 0,800	192.168.10.3	192.168.10.8	0	6	91	443	61983	TLSv1	37	150301
4	0 × 0,800	13.79.241.1	192.168.10.1	0	6	459	443	61867	TLSv1	405	170303
5	0 × 0,800	192.168.10.3	192.168.10.8	0	6	91	443	61986	TLSv1	37	150301
6	0 × 0,800	94.100.181.5	192.168.10.5	0	6	491	443	61662	TLSv1	437	170301
7	0 × 0,800	192.168.10.3	192.168.10.8	0	6	199	443	61993	TLSv1	145	170303
8	0 × 0,800	192.168.10.3	192.168.10.8	0	6	113	62544	443	TLSv1	59	170303
9	0 × 0,800	192.168.10.1	13.79.241.1	0	6	267	61988	443	TLSv1.2	213	d2a6ea
10	0 × 0,800	13.79.241.1	192.168.10.1	0	6	571	443	61990	TLSv1.2	517	6edb93
11	0 × 0,800	13.79.241.1	192.168.10.1	0	6	731	443	61988	TLSv1.2	677	170303
12	0 × 0,800	192.168.10.7	40.115.1.4	0	6	305	61991	443	TLSv1.2	251	170303
13	0 × 0,800	40.115.1.4	192.168.10.7	0	6	1223	443	61991	TLSv1.2	1169	05bb0f
14	0 × 0,800	192.168.10.7	40.115.1.4	0	6	268	61991	443	TLSv1.2	214	170303

ваниях [10, 11] данная задача решалась различными способами. Однако в настоящей работе был выделен следующий набор атрибутов:

X_1 — EtherType (тип стандарта протокола Ethernet);

X_2 — Source IP Address (IP-адрес отправителя);

X_3 — Destination IP Address (IP-адрес получателя);

X_4 — Multicast (принимает значение 1, если multicast, в противном случае 0);

X_5 — IP Protocol (тип транспортного уровня);

X_6 — Packet Length (длина сетевого пакета в байтах);

X_7 — Source Port (порт TCP/UDP отправителя);

X_8 — Destination Port (порт TCP/UDP получателя);

X_9 — Hex_length (количество байт в шестнадцатеричной последовательности — Hex Stream, которая включает полезную нагрузку — payload);

X_{10} — Type_protocol (атрибут для обеспечения обучения моделей классификации сетевых пакетов по схеме с учителем);

X_{11} — Payload_hex (передаваемая шестнадцатеричная последовательность в контенте пакета протокола прикладного уровня —

часть payload размером J , для удобства в статье в ряде случаев обозначается H).

Заметим, среди входных атрибутов был включён дополнительный параметр — метка класса Type_protocol, чтобы иметь возможность обучения моделей классификации сетевых пакетов по схеме с учителем. Возможная последовательность исходных данных трафика может иметь вид, показанный в табл. 1.

Мониторинг и сбор пакетной статистической информации наиболее известных и часто встречающихся протоколов сетевого трафика. Мониторинг и сбор пакетной статистической информации наиболее часто встречающихся протоколов сетевого трафика (TLSv1, TLSv1.2, SSHv2, HTTP, FTP и др.) был осуществлён с использованием открытого программного обеспечения Wireshark [12] и включал в себя решение следующих задач:

а) выбор наиболее подходящих входных переменных для построения модели классификации сетевых пакетов;

б) формирование набора первичных репрезентативных выборок — DUMP в PCAP-формате с пакетной информацией по указанным выше протоколам (объём трафика ~1 Гб);

в) автоматическое формирование вторичных выборок для анализа.

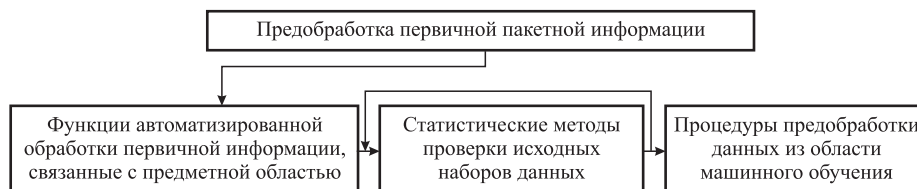


Рис. 1. Интеллектуальная автоматизированная предобработка первичных пакетных данных

Предобработка первичной пакетной статистической информации. Предобработка первичной пакетной информации состоит из трёх последовательно выполняющихся блоков (рис. 1).

В первом блоке алгоритма предобработки задействован следующий функционал:

а) проверка payload на предмет зашифрованной контентной информации (потребовала реализации отдельного специального технологического ПО на языке Python);

б) обработка payload для лучшего визуального восприятия и возможности эвристического (поведенческого) анализа;

в) разделение полученных классифицируемых сетевых пакетов на однородные группы (A, B, C, D) на основе значений некоторых входных признаков (тип стандарта протокола Ethernet, Multicast и тип транспортного уровня), а также формирование тестовых и тренировочных наборов.

В табл. 1 приведён пример тестового плоского файла в csv-формате с пакетной статистической информацией.

Разделение классифицируемых сетевых пакетов на принадлежность к протоколам (DHCPv6, DNS, FTP, HTTP и др.) на группы ($GROUP_A$, $GROUP_B$, $GROUP_C$, $GROUP_D$) производится на основе следующих логических правил:

$$\begin{aligned}
 GROUP_A &= \text{if}(\text{ethertype} == \text{IPv4}) \& \\
 &\&(\text{Multicast} == 0) \& \&(\text{IP_PROTO} == \text{TCP}); \\
 GROUP_B &= \text{if}(\text{ethertype} == \text{IPv4}) \& \\
 &\&(\text{Multicast} == 0) \& \&(\text{IP_PROTO} == \text{UDP}); \\
 GROUP_C &= \text{if}(\text{ethertype} == \text{IPv4}) \& \\
 &\&(\text{Multicast} == 1) \& \&(\text{IP_PROTO} == \text{UDP}); \\
 GROUP_D &= \text{if}(\text{ethertype} == \text{IPv6}) \& \\
 &\&(\text{Multicast} == 1) \& \&(\text{IP_PROTO} == \text{UDP}).
 \end{aligned} \quad (5)$$

В результате вычислений по выражениям (5) классифицируемые сетевые пакеты распределяются по группам для идентификации

соответствующих протоколов информационного обмена:

$$\begin{aligned}
 GROUP_A &= \\
 &= \{\text{TLSv1}, \text{TLSv1.2}, \text{TCP}, \text{SSHv2}, \text{HTTP}\}; \\
 GROUP_B &= \{\text{UDP}, \text{STUN}, \text{QUIC}, \\
 &\quad \text{NBNS}, \text{DNS}, \text{BROWSER}\}; \\
 GROUP_C &= \{\text{SSDP}, \text{MDNS}, \text{LLMNR}\}; \\
 GROUP_D &= \\
 &= \{\text{SSDP}, \text{MDNS}, \text{LLMNR}, \text{DHCPv6}\}.
 \end{aligned} \quad (6)$$

Попавшие в одну группу протоколы будем считать во многом схожими, а общую выборку в группе — однородной.

Внутри каждой группы данные разделяются на тренировочные и тестовые наборы данных.

На современном этапе развития математического моделирования принято считать, что репрезентативные исходные наборы данных во многом обеспечивают конечный успех всего моделирования — получение адекватных моделей. Как правило, проводятся статистические проверки исходных данных, выявляются и исключаются из тренировочных выборок сильно зашумленные или избыточные исходные данные (первый блок, см. рис. 1).

Во втором блоке алгоритма предобработки выделяются хорошие наборы данных для дальнейшего построения моделей классификации сетевых пакетов прикладного уровня.

В третьем блоке алгоритма используются следующие процедуры предобработки данных, как правило, применяемых в методах машинного обучения:

обработка категориальных данных; масштабирование признаков, которое включает в себя приведение разных признаков к одинаковой шкале (на практике существуют два общих подхода к приведению разных признаков к одинаковой шкале: нормализация и стандартизация);

отбор содержательных признаков.

Нормализация значений атрибутов IP-пакета осуществляется стандартными преоб-

разованиями приведения к одинаковой шкале в интервале $[0...1]$ выражением:

$$\widetilde{X}_n = \frac{X_n - X_{n_min}}{X_{n_max} - X_{n_min}}, \quad (7)$$

где X_{n_min} — минимальное значение атрибута X_n ; X_{n_max} — максимальное значение атрибута X_n .

После завершения процедуры нормализации входных переменных, некоторые из них далее проходят процедуру фаззификации и преобразуются в нечёткие индикаторы, характеризующие лингвистическими переменными (ЛП). Нечёткий индикатор — это число в диапазоне $[0, 1]$, которое характеризует оценку показателя, используемого в качестве атрибута.

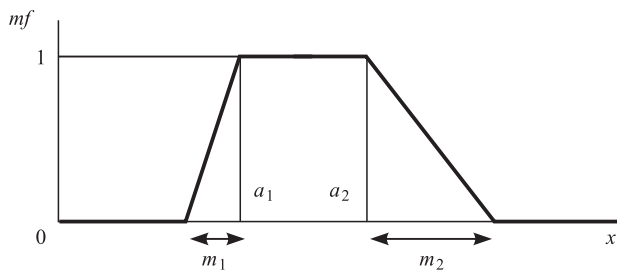


Рис. 2. Трапецевидная функция принадлежности mf (membership function) нечёткому множеству

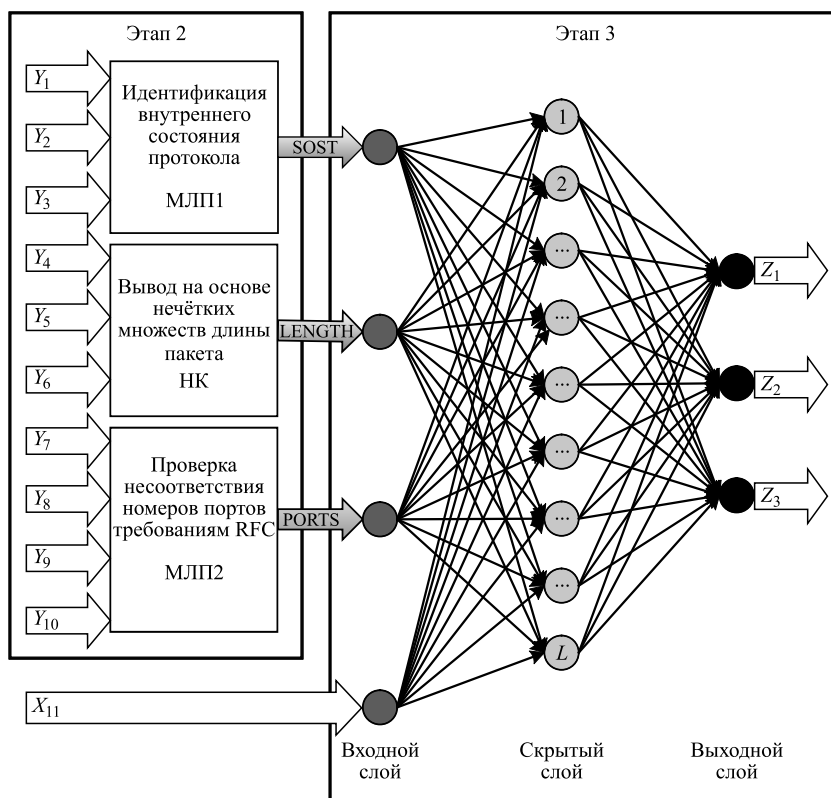


Рис. 3. Структурная схема двухступенчатого алгоритма классификации сетевых пакетов

В основу нечёткого индикатора положена оценка эксперта, которая моделируется функцией принадлежности, при этом носителем выступает допустимое множество значений анализируемого показателя.

В общем случае могут также применяться различные модели функции принадлежности (например, треугольная, трапецевидная или обобщённая колоколообразная) (рис. 2). В данном исследовании применялись треугольная, трапецевидная, П-образная функции принадлежности и синглетон.

Построение классификатора сетевых пакетов. В настоящее время исследователи и специалисты обсуждают идею совместного использования нейросетевого подхода к классификации сетевых пакетов и анализа DPI, NTA [13].

Следует отметить, что ряд входных признаков из числа выделенных и представленных ранее являются категориальными, а другие — являются количественными. Учитывая значительное количество анализируемых данных для оптимизации вычислений, требуется использовать декомпозицию (свёртку). Для этой цели специалисты машинного обучения часто применяют линейный дискриминантный анализ (LDA) [14] и/или глубокие свёрточные нейронные сети [15]. В данной работе

для этой цели используют модели на основе логических правил и алгоритмов нечёткой логики (применялся алгоритм нечёткого вывода Мамдани [16—18]). Применение предложенного способа позволяет оперировать имеющимися знаниями об объекте исследования, например, с использованием RFC-описаний сетевых протоколов.

При реализации «глубокого» анализа пакетов рассматривается комбинированный метод классификации трафика, основанный на применении теорий нейронных сетей и нечётких множеств. При этом существенный выигрыш в классификации трафика получен при двухэтапном решении задачи, включающем:

первый этап — выполнение процедуры снижения размерности входного пространства признаков (свёртки) (рис. 3);

второй этап — завершение классификации трафика с применением логистической регрессии «с учи-

телем» (см. рис. 3) или с использованием алгоритма нечёткого вывода Мамдами.

Метод однопакетной классификации сетевых пакетов на основе алгоритмов нечёткой логики и нейронных сетей. Особенности алгоритма нечёткого вывода Мамдани. Алгоритм нечёткого вывода Мамдани задействован в общей схеме классификации сетевых пакетов. Рассмотрим основные особенности данного алгоритма.

Целевой функцией будем считать выполнение такого отображения своих входов (вектор X) в выход Y , которое обеспечивало бы как можно более точную аппроксимацию реальной системы, например, в смысле средней абсолютной погрешности.

Указанное отображение предполагает существование некоторой геометрической поверхности, которую принято называть поверхностью отображения, в пространстве, задаваемым декартовым произведением $X \times Y$ [19].

Алгоритм Мамдани представляет собой множество правил, где каждое из них задаёт в указанном пространстве некоторую нечёткую точку. На основе множества нечётких точек формируются нечёткий график и механизм интерполяции между точками, который зависит от используемого аппарата нечёткой логики.

Формально алгоритм Мамдани может быть определён следующим образом:

а) формирование базы правил систем нечёткого вывода;

б) фаззификация входных переменных;

в) агрегирование подусловий в нечётких продукционных правилах, при этом для нахождения степени истинности каждого из правил используются парные нечёткие логические операции, т. е. те правила, степень истинности которых отлична от нуля, считаются активными и используются для дальнейших расчётов;

г) активизация подзаключений в нечётких продукционных правилах, которую также часто называют выводом на правилах, выполняется с использованием операторов нечёткой импликации, например, если вывод следует осуществлять в соответствии с правилом: ЕСЛИ ($x = A$) ТО ($y = B$), используя импликацию Мамдани, можно определить активизированную функцию принадлежности импликации $A \rightarrow B$, которая представляет собой некоторое нечёткое отношение

$$\begin{aligned} R : \mu_R(x, y) &= \text{MIN}[\mu_A(x), \mu_B(y)]; \\ R : A \rightarrow B &\text{ на декартово} \\ &\text{произведение } X \times Y; \end{aligned} \quad (8)$$

д) аккумуляция заключений (процесс определения общего вывода) нечётких правил наиболее часто выполняется так, как показано на следующем примере: пусть дана нечёткая модель с базой правил вида

$$\begin{aligned} R1 : \text{ЕСЛИ } (x=A1) \text{ ТО } (y=B1); \\ R2 : \text{ЕСЛИ } (x=A2) \text{ ТО } (y=B2), \end{aligned} \quad (9)$$

при этом требуется определить результирующую функцию принадлежности $\mu_{res}(y)$ вывода из всей базы правил, тогда все правила, входящие в базу, можно объединить в одно составное правило

$$\begin{aligned} R : \text{ЕСЛИ } (x=A1) \text{ ТО } (y=B1) \\ \text{ИЛИ ЕСЛИ } (x=A2) \text{ ТО } (y=B2), \end{aligned} \quad (10)$$

это означает, что правило R состоит из двух простых правил $R1$ и $R2$, объединённых логической связкой ИЛИ, которая может быть представлена так

$$R = R1 \cup R2, \quad (11)$$

поскольку каждое правило представляет собой нечёткое отношение двух аргументов (импликацию), результирующее отношение R можно найти с использованием одной из s -норм, например, оператора MAX, его функцию принадлежности $\mu_R(x, y)$ можно получить на основе функций принадлежности составляющих его отношений (импликаций) по формуле

$$\mu_R(x, y) = \text{MAX}[\mu_{R1}(x, y), \mu_{R2}(x, y)]; \quad (12)$$

е) дефаззификация входных переменных, которая, как правило, задействует популярный метод центра тяжести, однако применяется также эффективный метод дефаззификации, называемый методом высот (рис. 4), расчёты по которому производятся по формуле

$$y^* = \frac{\sum_{j=1}^m y_j \mu_{B_j^*}(y)}{\sum_{j=1}^m \mu_{B_j^*}(y)}, \quad (13)$$

где m — число правил.

Таким образом, основными достоинствами алгоритма являются простой способ отображения входных данных (вектор X) в выход Y

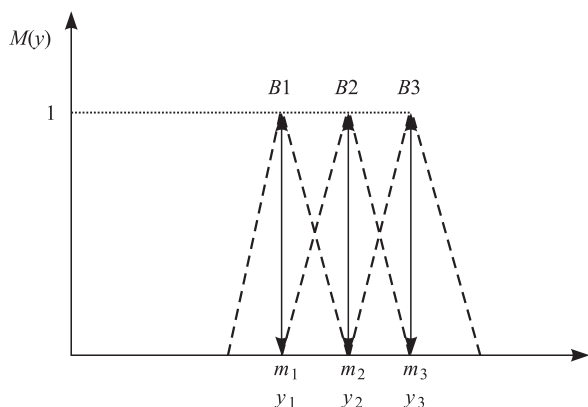


Рис. 4. Замена нечётких множеств B_j одноэлементными множествами (синглтонами)

для достижения высокой точности аппроксимации реальной системы при минимальной вычислительной нагрузке и возможность построения эффективных нейронечётких сетей, что предопределило интерес к алгоритму нечёткого вывода Мамдани в части его применимости в задачах определения протоколов информационного обмена прикладного уровня на основе классификации сетевых пакетов.

Искусственные нейронные сети. С середины 2000-х гг. отмечается возрождение интереса к теме, связанной с практическим применением искусственных нейронных сетей в задачах распознавания образов, аппроксимации функций, обработки сигналов и др. Этому способствовали разработанный прорывной алгоритм быстрого обучения, предложенный Дж. Хинтоном [20], и более позднее появление графических процессоров для параллельных численных расчётов (примерно в 2011 г.).

Нейросетевой классификатор — это по сути геометрический классификатор, с построения которого начинается вся современная литература по машинному обучению, например, в работах [21—23].

По представленному на рис. 3 алгоритму производятся расчёты с использованием искусственных нейронных сетей (см. далее).

В настоящее время архитектура нейронной сети, как правило, определяется на основе одного из общепринятых подходов:

с использованием языка программирования Python с его богатым и быстро обновляющимся арсеналом библиотек, связанных с методами машинного обучения (Scikit-learn [24], Keras [25], Spark [26, 27], TensorFlow [28—30], Theano [15]);

с использованием языка программирования C/C++ и специализированных открытых библиотек, в которых реализованы многие

алгоритмы машинного обучения, например, OpenCV [31, 32].

Данные подходы предполагают построение интеллектуальных решений с использованием доступных современных аппаратных платформ, таких как x64-86 (CPU). Однако для других появляющихся и совершенствующихся аппаратных платформ и технологий (таких, как Эльбрус [33]) графические ускорители вычислений GPU и др., находится место собственным реализациям нейросетевых решений с применением любого языка программирования высокого уровня (C/C++, Python и др.).

В данной работе использована собственная реализация нейросетевого решения (логистическая регрессия), разработанная на языке C++. Вместе с тем важно отметить, что геометрические классификаторы во многих случаях оказываются весьма полезными и эффективными, особенно в задачах определения протоколов информационного обмена и приложений прикладного уровня.

Возвращаясь к выбранной архитектуре нейронной сети (многослойная сеть прямого распространения с одним скрытым слоем, который включает 12 нейронов для модели классификации сетевых пакетов на соответствие протоколу TLSv1 и, соответственно, 11 нейронов на соответствие протоколам TLSv1.2 и HTTP), напомним, что при решении большинства прикладных задач полученная взвешенная сумма входных сигналов (рис. 5) преобразуется в выход нейрона с помощью некоторой нелинейной функции σ , не обладающей памятью. Данную функцию принято называть активационной:

$$y = \sigma(\omega_0 + \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \dots + \omega_n x_n). \quad (14)$$

Выбор активационной функции зависит от специфики решаемой прикладной задачи, при

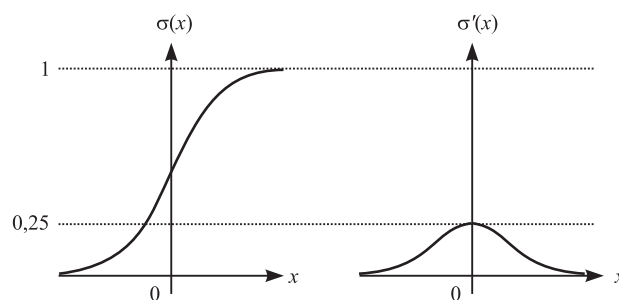


Рис. 5. Сигмоида и её производная

этом часто используют сигмоидную функцию (сигмоиду). В данной работе в качестве активационной функции также применяли сигмоиду и её производную (см. рис. 5):

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}; \sigma'(x) = \frac{e^{-x}}{(1 + e^{-x})^2}. \quad (15)$$

Многослойная сеть прямого распространения представлена на рис. 3 (третий этап).

Методы градиентного спуска и масштабируемых сопряжённых градиентов [34—36] использовались в данной работе для обучения нейронной сети.

Метод однопакетной классификации сетевых пакетов на основе алгоритмов нечёткой логики и нейронных сетей. После выполнения первичных преобразований в начальных процедурах предобработки исходных данных каждый объект (IP-пакет) может быть выражен новым набором переменных (атрибутов):

$$P_w = \{Y_1^w, Y_2^w, \dots, Y_{10}^w, H_j^w, H_{j+n}^w, H_{j+n+\dots+k}^w\}, \quad (16)$$

где Y_n^w — наблюдаемый n -атрибут w -пакета; H_j^w — элементы байтовой последовательности Payload_hex размером J (или X_{11}^w), задействованные в распознавании сетевых протоколов.

Структурная схема алгоритма определения протокола информационного обмена на последних расчётных этапах представлена на рис. 3, где входные показатели $Y_1—Y_{10}$, X_{11} характеризуют:

Y_1 — номер порта [TCP/UDP] отправителя;
 Y_2 — номер порта [TCP/UDP] получателя;
 Y_3 — значение первого байта в строковом контенте (часть payload) протокола верхнего уровня;

Y_4 — степень принадлежности малому значению длины пакета (нечёткому множеству);

Y_5 — степень принадлежности большому значению длины пакета (нечёткому множеству);

Y_6 — степень принадлежности среднему значению длины пакета (нечёткому множеству);

Y_7 — степень принадлежности малому значению номера порта [TCP/UDP] отправителя (нечёткому множеству);

Y_8 — степень принадлежности большому значению номера порта [TCP/UDP] отправителя (нечёткому множеству);

Y_9 — степень принадлежности малому значению номера порта [TCP/UDP] получателя (нечёткому множеству);

Y_{10} — степень принадлежности большому значению номера порта [TCP/UDP] получателя (нечёткому множеству);

X_{11} — Payload_hex (могут задействоваться любые байты hex-последовательности).

Выходные показатели имеют вид:

Z_1 — тип сетевого протокола информационного обмена;

Z_2 — тип сетевого приложения;

Z_3 — внутреннее состояние сетевого протокола в процессе сетевого обмена.

Очевидно, что поступающие на вход КСП признаки $Y_4—Y_{10}$ являются нечёткими ЛП, прошедшими на этапе предобработки исходных данных процедуру фазсификации, которая заключается в том, что на вход блока обработки поступает последовательно сформированный массив IP-пакетов размерностью W . В массиве содержатся значения всех входных атрибутов X_n^w . Цель этапа — получение значений функции принадлежности для всех условий из базы правил на втором расчётном этапе (см. рис. 3):

$$Y_n^w = \tilde{X}_n^w = \mu(X_n^w) = \begin{cases} \mu(X_4^w) \\ \mu(X_5^w) \\ \dots \\ \mu(X_{10}^w) \end{cases}. \quad (17)$$

В результате получается матрица множеств значений Y_n^w (или \tilde{X}_n^w), где $w = 1, \dots, W$; W — количество классифицируемых пакетов; $n = 4 \dots 10$ — количество исследуемых атрибутов пакета.

На первой ступени расчётов используются нечёткие контроллеры (НК) и модели на логических правилах (МЛП), например, в блоке проверки несоответствия используемых номеров портов требованиям RFC на основе несложных логических правил проверяются номера портов для исследуемых протоколов TLSv1 и TLSv1.2, как правило, для передающей и принимающей сторон используется порт 443 и номер порта из интервала целых чисел, нижняя граница которого превышает 50 000.

Для идентификации состояния протокола (блок МЛП1 на рис. 3) недостаточно информации из заголовка пакета; дополнительная информация должна быть извлечена из поля Payload_hex пакета (атрибут H). В этом случае идентифицирующим признаком состояния протокола является информация, извлечённая из шестнадцатеричных данных полезной

нагрузки сетевого пакета из поля Payload_hex. Внутреннее состояние определяется на основе логических правил принятия решений на основе информации из RFC (TLS 1.0 — RFC 2246, TLS 1.1 — RFC 4346, TLS 1.2 — RFC 5246, TLS 1.3 — RFC 8446). Основные состояния сеанса обмена TLS: начальное соединение, обмен криптографическими ключами, определение параметров соединения, аутентификация, предупреждение, обмен данными, завершение сеанса. Например, для определения состояния соединения были заданы правила:

```
var SessionInternalSost = -1;
ЕСЛИ (H [2] == 0x03) И (H [3] == 0x00),
то SessionInternalSost = 0;
ЕСЛИ (H [2] == 0x03) И (H [3] == 0x01),
то SessionInternalSost = 1;
ЕСЛИ (H [2] == 0x03) И (H [3] == 0x02),
то SessionInternalSost = 2;
ЕСЛИ (H [2] == 0x03) И (H [3] == 0x03),
то SessionInternalSost = 3.
```

Таким образом, на выходе МЛП1, если статус протокола SOST установлен, он будет иметь положительное значение.

На второй ступени используются методы логистической регрессии или алгоритмы нечёткой логики, а именно, алгоритм нечёткого вывода Мамдани. Результаты расчётов коэффициентов парной корреляции (табл. 2) входных признаков модели второй ступени показали, что входные признаки являются независимыми и могут эффективно использоваться в модели на основе логистической регрессии. Для подобных расчётов, как правило, используются различные математические пакеты. В данной работе применялся IBM SPSS Statistics 19 [37].

Наряду с независимостью входных признаков представляет интерес значимость входных синтетических признаков, поступа-

Таблица 2

Результаты расчётов коэффициентов парной корреляции

Атрибуты	PORTS	X11	LENGTH	SOST
PORTS	1	0,211	0,11	0,073
X11	0,211	1	0,397	0,176
LENGTH	0,11	0,397	1	0,188
SOST	0,073	0,176	0,188	1

ющих на вторую ступень расчётов. Используя количество ошибок классификации, если для неё используется каждый из входных признаков в отдельности, а также метод анализа иерархий [38] и имеющиеся знания о сетевых протоколах прикладного уровня, определены весовые коэффициенты для признаков модели второй ступени по степени значимости для протоколов TLSv1 и TLSv1.2:

$$W_{\text{ports}} = 0,1267; W_{x_{11}} = 0,566;$$

$$W_{\text{length}} = 0,0398; W_{\text{sost}} = 0,2674.$$

Наиболее значимым признаком модели второй ступени расчётов является принадлежность к определённому в RFC интервалу целых чисел Content Type для исследуемых протоколов TLSv1 и TLSv1.2. На втором месте по значимости — определяемое в МЛП1 внутреннее состояние протокола. Следует также отметить высокую полезность итогового внутреннего состояния исследуемых протоколов — Z_3 . Данный результирующий признак необходим для дальнейшей оптимизации построенного классификатора сетевых пакетов прикладного уровня, о чём свидетельствуют результаты проведённых тестов (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Результаты тестирования программного модуля для протоколов TLSv1, TLSv1.2 и сетевого приложения Viber

Выборка		Иные протоколы	Viber	TLSv1	TLSv1.2	
		Логистическая регрессия	С использованием нечётких множеств	С использованием нечётких множеств	Логистическая регрессия	С использованием нечётких множеств
Тестовая выборка	Количество пакетов	881	1546	104	269	269
	Ложное срабатывание	5	26	17	10	18
	Верность, %	99	98	84	96	93

Таблица 4

Общие результаты классификации протоколов прикладного уровня

Выборка		Иные протоколы		HTTP		Общий результат тестирования	
		Логистическая регрессия	С использованием нечётких множеств	Логистическая регрессия	С использованием нечётких множеств	Логистическая регрессия	С использованием нечётких множеств
Тестовая выборка	Количество пакетов	881	881	25	25	1254	1254
	Ложное срабатывание	5	5	1	2	91	42
	Верность, %	99	99	96	92	93	97

На основе описанного двухступенчатого алгоритма определения протокола информационного обмена был разработан тестовый программный модуль.

Тестирование построенного классификатора сетевых пакетов. На данном этапе производятся расчёты с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС) и алгоритмов нечёткой логики.

Для использования в межсетевых экранах, DPI-системах, системах обнаружения вторжений (COB) и др., операционных системах LINUX и Windows на языке программирования C++ построен программный модуль.

В табл. 5 приведены характеристики используемой при проведённом тестировании аппаратной платформы.

Таблица 5

Характеристики используемой аппаратной платформы

Ресурсы	АП
Центральный процессор	Intel Core i5-6400 2,7 GHz
Оперативная память, Gb	8
Установленное ПО	OC MS Windows 10 Pro 64 bit

Таблица 6

Результаты вычислительной производительности

Метод	Логистическая регрессия	С использованием нечётких множеств
Среднее время классификации пакета, мс	0,755	0,6735

Результаты тестирования представлены в табл. 3 и 4.

В табл. 6 приведены результаты измерений вычислительных ресурсов используемых вариантов моделей на второй ступени расчётов.

Основными преимуществами представленного решения являются:

- высокая вычислительная производительность классификации с использованием нейронных сетей и алгоритмов нечёткой логики;
- возможность применения параллельных вычислений;

- высокая верность классификации и обобщение на тестовых выборках;

- совместимость с доверенными аппаратными платформами (такими, как Эльбрус) и переносимость на различные операционные системы.

Заключение. Представленная методика распознавания сетевых протоколов информационного обмена иллюстрирует развитие систем анализа трафика (NTA) и других систем обеспечения информационной безопасности (IDS, IPS, NMS, DDoS PS и т.п.) в условиях действия программ импортозамещения с применением нового подхода анализа трафика, в основе которого лежит использование алгоритмов машинного обучения, алгоритмов нечёткой логики.

Существует перспектива появления нейросетевого классификатора сетевых пакетов промышленного уровня с показателями, не уступающими известным DPI-решениям, но работающего на совершенно ином уровне.

Предпринята попытка перехода от простого логического КСП на правила, главными недостатками которого являются трудоёмкость и рутинность формирования правил, к современному высокотехнологичному ней-

росетевому классификатору, базирующемуся на методах машинного обучения и интеллектуальной обработке данных. Идея совместного использования нейросетевого подхода классификации сетевых пакетов, DPI, NTA и др. в настоящее время обсуждается крупными игроками на мировой арене.

Предложен новый эффективный алгоритм определения протоколов информационного обмена на основе классификации сетевых пакетов с использованием алгоритмов нечёткой логики и методов машинного обучения. Основной эффект алгоритма заключается в том, что для определения протокола используется принцип высокоскоростной однопакетной классификации, который позволяет анализировать информацию, передаваемую в каждом конкретном пакете. Используются элементы поведенческого анализа, а именно, классифицируются переходные состояния протоколов информационного обмена, что позволяет достичь более высокого уровня верности классификации и более высокой степени обобщения на новых тестовых выборках.

Библиографические ссылки

1. **Лось А.Б., Даниелян Ю.Ю.** Сравнительный анализ систем обнаружения вторжений, представленных на отечественном рынке // Вестник МФЮА. 2014. № 3. С. 181—187.
2. **Агеев С.А., Саенко И.Б., Котенко И.В.** Метод и алгоритмы обнаружения аномалий в трафике мультисервисных сетей связи, основанные на нечётком логическом выводе // Информационно-управляющие системы. 2018. № 3. С. 61—68. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2018.3.61.
3. **Амосов О.С., Магола Д.С., Баена С.Г.** Сетевая классификация атак в задачах информационной безопасности на основе интеллектуальных технологий, фрактального и вейвлет-анализа // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2017. Т. 1. № 4 (32). С. 19—29.
4. **Рыжков Д.О.** Определение протокола прикладного уровня для анализа сетевого трафика с применением алгоритмов машинного обучения / Материалы IX междунар. студенческой науч. конф. «Студенческий научный форум». Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2017/article/2017032799> (дата обращения: 12.08.2019).
5. **Rehak M., Pechoucek M., Grill M., Stiborek J., Bartos K., Celeda P.** Adaptive multiagent system for network traffic monitoring // IEEE Intelligent Systems. 2009. Vol. 24 (3). P. 16—25.
6. **Singh J., Nene M.J.** A Survey on Machine Learning Techniques for Intrusion Detection Systems // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2013. Vol. 2. Iss. 11. Department of Computer Engineering, DIAT, Pune, India. P. 4349—4355.
7. **Abraham S., Nair S.** Cyber Security Analytics: A stochastic model for Security Quantification using Absorbing Markov Chains // Journal of Communications. 2014. Vol. 9(12). P. 899—907.
8. **Szabo G., Szule J., Turanyi Z., Pongracz G.** Multi-level Machine Learning Traffic Classification System / ICN 2012: The Eleventh International Conference on Networks. P. 69—77.
9. **Sun R., Yang B., Peng L., Chen Z., Zhang L., Jing S.** Traffic Classification Using Probabilistic Neural Networks / Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010). P. 1914—1919.
10. **Елагин В.С., Зарубин А.А., Онуфриенко А.В.** Эффективность DPI-системы для идентификации трафика и обеспечения качества обслуживания OTT-сервисов // Научноёмкие технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 3. С. 40—53. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10074.
11. **Бабенко Г.В.** Анализ современных угроз информации, возникающих при сетевом взаимодействии // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 2. Режим доступа: <http://www.cosmos.ru/earth/trudi/1-28.pdf> (дата обращения: 14.08.2019).
12. **Sanders C.** Practical packet analysis: 2nd edition. 2011. No Starch Press, Inc. 38 Ringold Street, San Francisco, CA 94103.
13. **Lim Y., Kim H., Jeong J., Kim C., Kwon T., Choi Y.** Internet Traffic Classification Demystified: On the Sources of the Discriminative Power. 2010. URL: http://conferences.sigcomm.org/co-next/2010/CoNEXT_papers/09-Lim.pdf (дата обращения: 12.08.2019).
14. **Izenman A.J.** Linear Discriminant Analysis. In: Modern Multivariate Statistical Techniques. Springer Texts in Statistics. Springer, New York, NY. 2013. 733 p.
15. **Bourez C.** Deep learning with Theano. Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK. 2017. 284 p.
16. **Mamdani E.H., Assilian S.** An experiment in linguistic synthesis thesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. No. 1. P. 1—13.
17. **Mamdani E.H.** Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers // International Journal of Man-Machine Studies. 1976. Vol. 8. P. 669—678.
18. **Mamdani E.H.** Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Transactions on Computers. 1977. Vol. 26. No. 12. P. 1182—1191.
19. **Перат А.** Нечёткое моделирование и управление / пер. с англ. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. С. 311—312.
20. **Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J.** Learning Representations by Backpropagating Error // Letters to nature. 1986. Vol. 323. P. 533—536.
21. **Bishop C.M.** Neural Networks for Pattern Recognition / Department of Computer Science and Applied Mathematics Aston University Birmingham, UK. 1995. P. 479.
22. **Рашка С.** Python и машинное обучение / пер. с англ. А.В. Логунова. М.: ДМК Пресс, 2017. 418 с.

23. **Флах П.** Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А.А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.

24. **Garreta R., Moncecchi G.** Learning scikit-learn: Machine Learning in Python. Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK, 2013. 99 p.

25. **Gulli A., Pal S.** Deep Learning with Keras // Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK. 2017. 318 p.

26. **Карау Х., Конвински Э., Венделл П., Захария М.** Изучаем Spark: молниеносный анализ данных. М.: ДМК Пресс, 2015. 304 с.

27. **Pentreath N.** Machine Learning with Spark. Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK. 2015. 319 p.

28. **McClure N.** TensorFlow Machine Learning Cookbook / Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK, 2017. 422 p.

29. **Abrahams S., Hafner D., Erwitte E., Scarpinelli A.** Tensorflow for machine intelligence. Bleeding Edge Press, Santa Rosa, CA 95404. 2016. 298 p.

30. **Bonnin R.** Building Machine Learning Projects with TensorFlow / Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK. 2016. 282 p.

31. **Kaehler A., Bradski G.** Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library, 1st O'Reilly Media, Inc. 2016.

32. **Beyeler M.** Machine Learning for OpenCV / Packt Publishing Ltd. Livery Place 35 Livery Street Birmingham B3 2PB, UK. 2017. 382 p.

33. **Бычков И.Н., Глухов В.И., Трушкин К.А.** Доверенная программно-аппаратная платформа «Эльбрус». Отечественное решение для АСУ ТП КВО // ИСУП. 2014. № 1 (49).

34. **Nocedal J., Wright S.J.** Numerical Optimization. NY: Springer, 1999. 663 p.

35. **Васильев Ф.П.** Методы оптимизации. М.: Изд-во «Факториал Пресс», 2002. 824 с.

36. **Галушкин А.И.** Нейронные сети: основы теории. М.: Горячая Линия — Телеком, 2012. 496 с.

37. **Наследов А.** SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2011. 400 с.

38. **Саати Т.Л.** Взаимодействие в иерархических системах // Техническая кибернетика. 1979. № 1. С. 68—84.

Ссылка для цитирования

Ермаков Р.Н. Распознавание сетевых протоколов и приложений прикладного уровня с применением методов машинного обучения и алгоритмов нечёткой логики в системах анализа трафика // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 2. С. 84—96.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении по каталогу:

«Пресса России» — индекс **27838**.

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Пресса России» — 27838) или непосредственно в издательстве по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок: (495) 785-60-69

Сдано в набор 03.12.2019.

Подписано в печать 22.01.2019.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Канцлер»

150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Автоматизация. Современные технологии» обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель