

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА**
№ 3, 2017

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE**
No 3, 2017



**Международный
Научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Сергей Васильевич Харитончик

Редакционная коллегия

В. Ф. Голиков (зам. главного редактора),
В. А. Богущ, Т. В. Борботько, В. Б. Байбурин (РФ),
Д. Ю. Большаков (РФ), Л. С. Герасимович, Н. Н. Гурский,
Ю. М. Захарик, И. А. Каляев (РФ), Г. О. Кипиани (Грузия),
Э. Г. Лазаревич, В. А. Липницкий, А. А. Лобаты, В. А. Мищенко, Е. И. Никифорович (Украина),
А. А. Прихожий, И. А. Сатиков, В. В. Старовойтов,
П. П. Урбанович, А. Патрин (Польша),
Ю. Н. Петренко (ответственный секретарь),
Н. Н. Ташатов (Казахстан), А. В. Чигарев, Д. К. Щеглов (РФ)

**International
Science and Technique Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National Technical
University

Editor-in-chief

Sergei V. Kharytonchyk

Editorial board

V. Golikov (deputy editor-in-chief), V. Bogush,
T. Borbotko, V. Baiburin (RF), D. Bolshakov (RF), N. Gurskiy,
L. Gerasimovich, J. Zaharik, I. Kalyaev, G. Kipiani (Georgia),
E. Lazarevich, V. Lipnitsky, A. Lobaty, V. Mishchenko,
E. Nikiforovich (Ukraine), A. Prihozhy, I. Satikov,
V. Starovoytov, P. Urbanovich, A. Patrin (Poland),
Y. Petrenko (executive secretary), N. Tashchatov
(Kazakhstan), A. Chigarev, D. Shcheglov (RF)

Журнал включен в "Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований".

Журнал включен в международные каталоги и базы данных:

- ❖ Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- ❖ Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU
- ❖ Электронно-библиотечная система (ЭБС) издательства Лань
- ❖ DOAJ <https://doaj.org/toc/2414-0481>
- ❖ Google Scholar
- ❖ Киберленинка

- ❖ EBSCO
- ❖ BASE Search
- ❖ OpenAIRE
- ❖ WorldCat
- ❖ OpenDOAR
- ❖ ROAR

Содержание

Contents

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Рудикова Л. В., Жавнерко Е. В.

О моделировании данных предметных-областей
практико-ориентированной направленности для
универсальной системы складирования и обработ-
ки данных 4

Абуфанас А. С., Лобаты А. А., Яцына Ю. Ф.

Анизотропный регулятор демпфирования слу-
чайных колебаний подвижной платформы беспи-
лотного летательного аппарата 13

Ковальский Л. Н., Смилка В. А.

Обзор европейских программ системного исследо-
вания городских территорий 20

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Климович А. Н., Шуть В. Н.

Системный анализ основных тенденций в развитии
адаптивных методов управления транспортными
потоками 28

SYSTEM ANALYSIS

Rudikova, L. V., Zhavnerko E. V.

About data modeling subject domains practice-oriented
direction for universal system of storage and processing
dat 4

Abufanas A. S., Lobaty A. A., Yacina Y. F.

Anisotropic regulator of damping of random vibrations
of the mobile platform of a bilament vehicle apparatus. 13

Kovalskyi L. N., Smilka V. N.

Review of the european systems research programs of
urban territories 20

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS

Klimovich A. N. Shuts V. N.

System analysis of major trends in development of
adaptive traffic flow management methods 28

Герасимович Л. С., Коско А. Н., Синенький А. В. Математическая модель управляемой биотехнической системы животноводческого комплекса на примере инфракрасного облучения поросят-отъемышей.....	Gerasimovich L. S., Kosko A. N., Sinenkii A. V. Mathematical model of the biotechnic system controlled by the system of animal system on the example of infrared irradiation of pig-removal.....	33
Аймад Эльзейн., Петренко Ю. Н. Структура управления фотоэлектрической станцией на основе адаптивного нечеткого агента.....	Imad A. Elzein, Petrenko Yuri N. A structure approach for a photovoltaic station control based on adaptive fuzzy agent.....	40
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ	DATA PROCESSING AND DECISION-MAKING	
Рыбак В. А., Шокар Ахмад Автоматизированная система учёта наличия и использования природных ресурсов	Rybak V. A., Chokr Ahmad Automated information system of control of availability and using of natural resources.....	50
ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ	INFORMATION SECURITY	
Соколов А. В., Жданов О. Н. Нелинейные преобразования конструкции Ниберга над изоморфными представлениями полей Галуа	Zhdanov O. N., Sokolov A. V. Nonlinear Nyberg construction transforms over isomorphic representations of fields Galois	59
Прихожий А. А., Карасик О. Н. Разнородный блочный алгоритм поиска кратчайших путей между всеми парами вершин графа	Prihozhy A., Karasik O. Heterogenous blocked all-pairs shortest paths algorithm..	68
Андриянова Т. А., Саломатин С. Б. DLP: Снижение риска утечки конфиденциальной информации банка.....	Andryianava T. A., Salomatina S. B. DLP: Reduced risk of leakage of confidential information of the bank.....	76

Ответственный секретарь редакции

Петренко Ю. Н.

Адрес редакции

ул. Франциска Скорины 25/3, Минск,
220114,
Республика Беларусь
Тел. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Executive secretary of the editorial board

Y. Petrenko

Editorial board address

25/3 Franciska Skaryna str., Minsk, 220114,
Republic of Belarus
Tel. +375 17 267-66-84
e-mail: CA_PI@bntu.by

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации
№ 1540 от 08.06.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь

Подписано в печать 22.03.2016. Формат бумаги 60·84 1/8. Бумага офсетная.

Ризография. Усл. печ. л. 7,67. Уч.-изд. л. 3,00. Тираж 150 экз. Заказ 960.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Пр. Независимости, 65, г. Минск, 220013

© Белорусский национальный технический университет

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

УДК 004.65

Л. В. РУДИКОВА Е. В. ЖАВНЕРКО

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДАННЫХ ПРЕДМЕТНЫХ-ОБЛАСТЕЙ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СКЛАДИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»

В статье рассматривается представления данных для предметных областей практико-ориентированной направленности, которые являются основой общей модели данных для создания единого хранилища данных. Приводится краткая характеристика предметных областей, связанных с различными направлениями деятельности людей на текущий момент времени. Предложены соответствующие модели данных, а также рассмотрена их взаимосвязь между собой в аспекте обработки данных и построения единой универсальной системы, базирующейся на информационной технологии складирования данных и которой характерны расширяемая комплексная предметная область, интегрированность данных, поступающих из различных источников, инвариантность хранимых данных во времени с обязательными темпоральными метками, относительно высокая стабильность данных, поиск необходимых компромиссов в избыточности данных, модульность отдельных блоков системы, гибкость и расширяемость архитектуры, высокие требования к безопасности хранимых данных. Предлагается общий подход к сбору и хранению данных, а также рассматриваются соответствующие модели данных с подробным описанием, которые в дальнейшем будут интегрироваться в единую схему базы данных, на основании чего будет формироваться обобщенная схема хранилища данных типа «созвездие фактов». Для получения моделей данных применяется структурная методология и учитываются общие принципы концептуального моделирования.

Разработка единой комплексной системы на основе полученных моделей предметных областей, способной работать сразу со многими информативными источниками и представлять данные в удобном для пользователей виде будет востребована в дальнейшем для проведения анализа данных выбранной предметной области и установления возможных межпредметных взаимодействий.

Ключевые слова: *хранилище данных, предметная область, универсальная система, схема данных, структурная методология, данные практико-ориентированной направленности*

О предметной области исследования, связанной с данными практико-ориентированной направленности

В настоящее время актуальным представляется разработка общей концепции и реализация системы складирования и обработки данных, связанных с различными видами деятельности людей, которая может быть рассмотрена в аспекте создания некоторого федерального хранилища данных.

Отметим, что исследование и обобщение предметных областей различной тематики является востребованным направлением исследований. Во-первых, в мире накоплены огромные массивы информации, часто достаточно разрозненной и воспринимаемой в отрыве от

общей картины жизнедеятельности общества. Во-вторых, разработаны и разрабатываются различные методы, алгоритмы и методологии анализа данных [1–3], которые используются для конкретной выборки или совокупности исследуемых данных. В-третьих, имеется достаточное количество необходимого программного обеспечения, технологий и методов формализации массивов данных, которые позволяют структурировать данные определенной тематики. С другой стороны, пример развития Всемирной сети показывает, что в едином информационном пространстве данные, практически, взаимосвязаны, порождены различными видами деятельности общества и следует рассматривать их в контексте цельного представ-

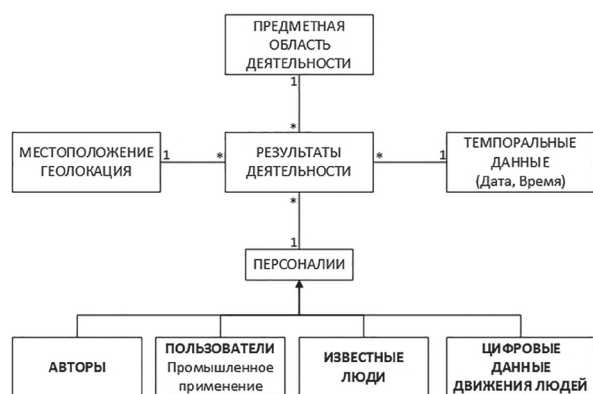


Рис. 1. Обобщенная схема предметных областей деятельности персоналий

ления, но в рамках проекций определенного вида деятельности или взаимодействий.

В рамках рассматриваемой тематики за основу хранимых и обрабатываемых данных при-

нимается информация, которая связана с конкретными людьми (персоналиями), их профессиональной (и иной) деятельностью, перемещениями в территориальном аспекте, их взаимосвязями и взаимодействиями с окружающим миром (рис. 1).

Так, под хранимыми в системе данными о персоналиях подразумевается информация следующего вида:

- информация об авторах материального наследия (например, художники, писатели, ученые и др.);
- данные об известных людях, внесших существенный вклад в экономическую (реформа экономики, сельского хозяйства, иных отраслей), социальную (положительный опыт страны в здравоохранении, соцобеспечении, образовании, в какой-либо области науки, культу-

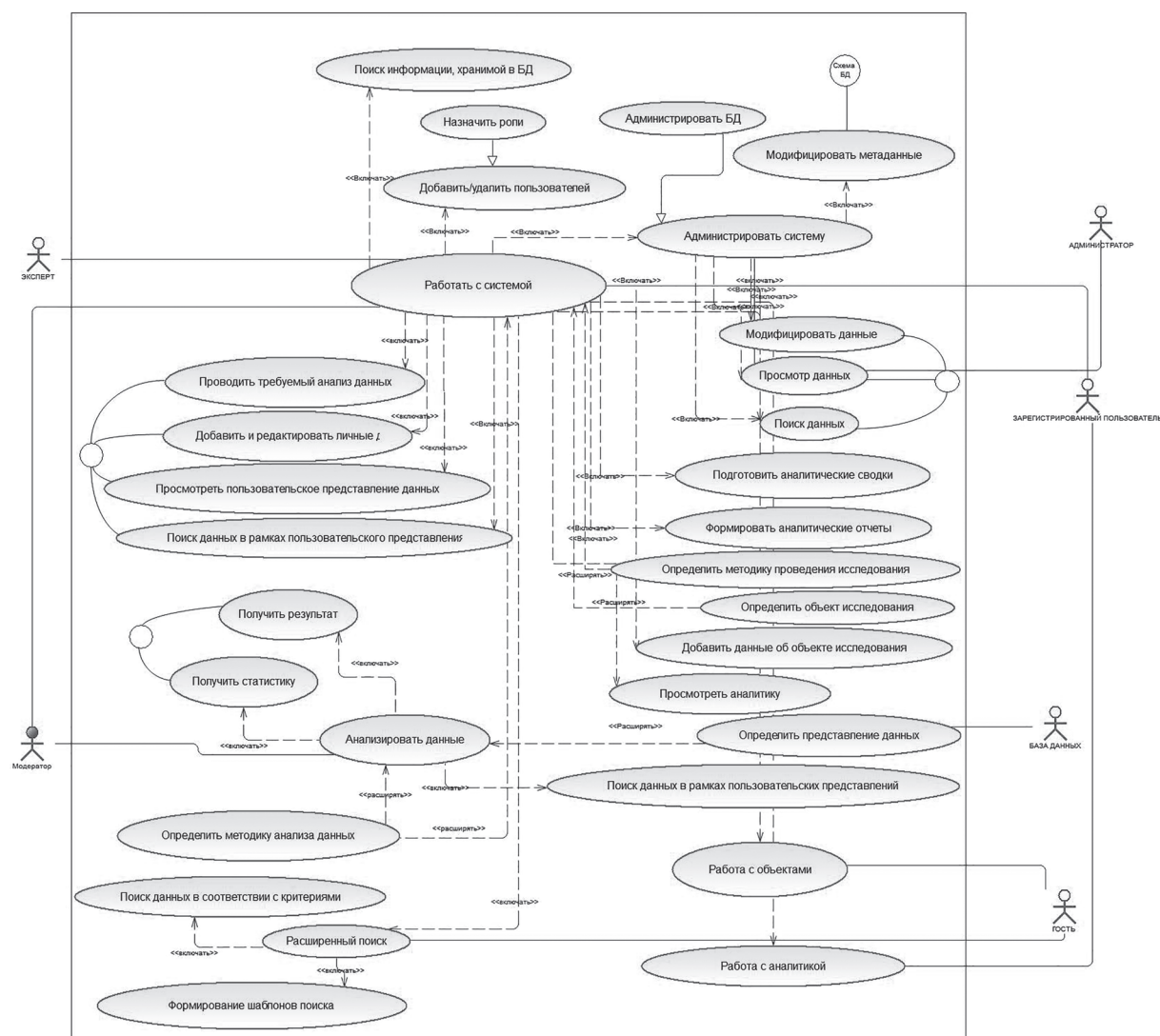


Рис. 2. Диаграмма вариантов использования для универсальной системы складирования и обработки данных практико-ориентированной направленности

ры) и военно-политическую сферы деятельности (реформа правительства, госаппарата, вооруженных сил, потенциальные или реально одержанные военные победы и т. д.);

– данные об исследователях в той или иной области деятельности (например, исследователях произведений искусств, экспертах в области промышленности, экспериментаторах в области новых технологий и т. д.);

– информация о пользователях социальных сетей и Интернет-ресурсов конкретной тематики, доступная через официальные веб-сервисы.

Отметим также, что для добавления информации в хранилище данных при необходимости требуемая информация может быть извлечена из OLTP-систем.

С учетом того, что данные о персоналиях могут дополняться постоянно, включая современный и исторический аспект, их род деятельности и результаты деятельности могут охватывать несколько смежных и несмежных направлений, а геолокация и перемещения охватывают, практически, всю территорию земного шара, обобщенную схему предметных областей можно представить в виде ключевых объектных множеств со связями «один-ко-многим» по отношению к объекту «РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ».

Предлагаемая обобщенная схема является расширяемой, легко модифицируемой и дает представление о взаимосвязях между предметными областями благодаря деятельности конкретных личностей, в частности, и расширению направлений деятельности общества, в целом.

Отметим, что предлагаемая схема интеграции данных будет являться основой для соответствующей модели данных разрабатываемой универсальной системы, базирующейся на информационной технологии складирования данных и позволяющей накапливать данные о разных отраслях деятельности общества из различных источников, проводить быстрый поиск и обработку информации, применять средства Data Mining с целью обнаружения новых закономерностей в указанных массивах хранимых данных. Для системы такого плана характерны следующие аспекты [1, 4, 6, 10–12]: расширяемая комплексная предметная область, интегрированность хранимых данных,

которые поступают из различных источников, инвариантность хранимых данных во времени с обязательными темпоральными метками, относительно высокая стабильность данных, поиск необходимых компромиссов в избыточности данных, модульность отдельных блоков системы, гибкость и расширяемость архитектуры, высокие требования к безопасности хранимых данных. Основная группа пользователей системы и общие варианты использования представлены на рис. 2.

Основные модели данных для некоторых предметных областей практико-ориентированной направленности

Приведем основные требования предметной области, которая охватывает на текущий момент времени следующие данные: информация о людях, их деятельности; данные о произведениях художественной ценности и их исследовании [4–7]; некоторые данные, связанные с демографическими и миграционными показателями, а также некоторыми данными Интернет-платформ [8, 9].

Отметим, что для приводимых ниже предметных областей разрабатываются модели данных, которые в дальнейшем будут интегрироваться в единую схему базы данных, на основании чего будет формироваться обобщенная схема хранилища данных типа «созвездие фактов». Для получения моделей данных применяется структурная методология и учитываются общие принципы концептуального моделирования. Выделяются необходимые объекты хранения данных, связи, определяются ограничения на данные, ограничения целостности, пользовательские ограничения и учитываются требования по производительности разрабатываемой системы.

Анализируя предметную область, связанную с информацией о людях, следует выделить те сведения, которые будут вызывать интерес пользователей в рассматриваемом контексте. В первую очередь к ним можно отнести персональные данные личности, такие как фамилия, имя, отчество, даты рождения и смерти, род занятий, принадлежность к определенным социальным группам по различным признакам (профессия, этническая, конфессиональная принадлежность), достижения. Био-

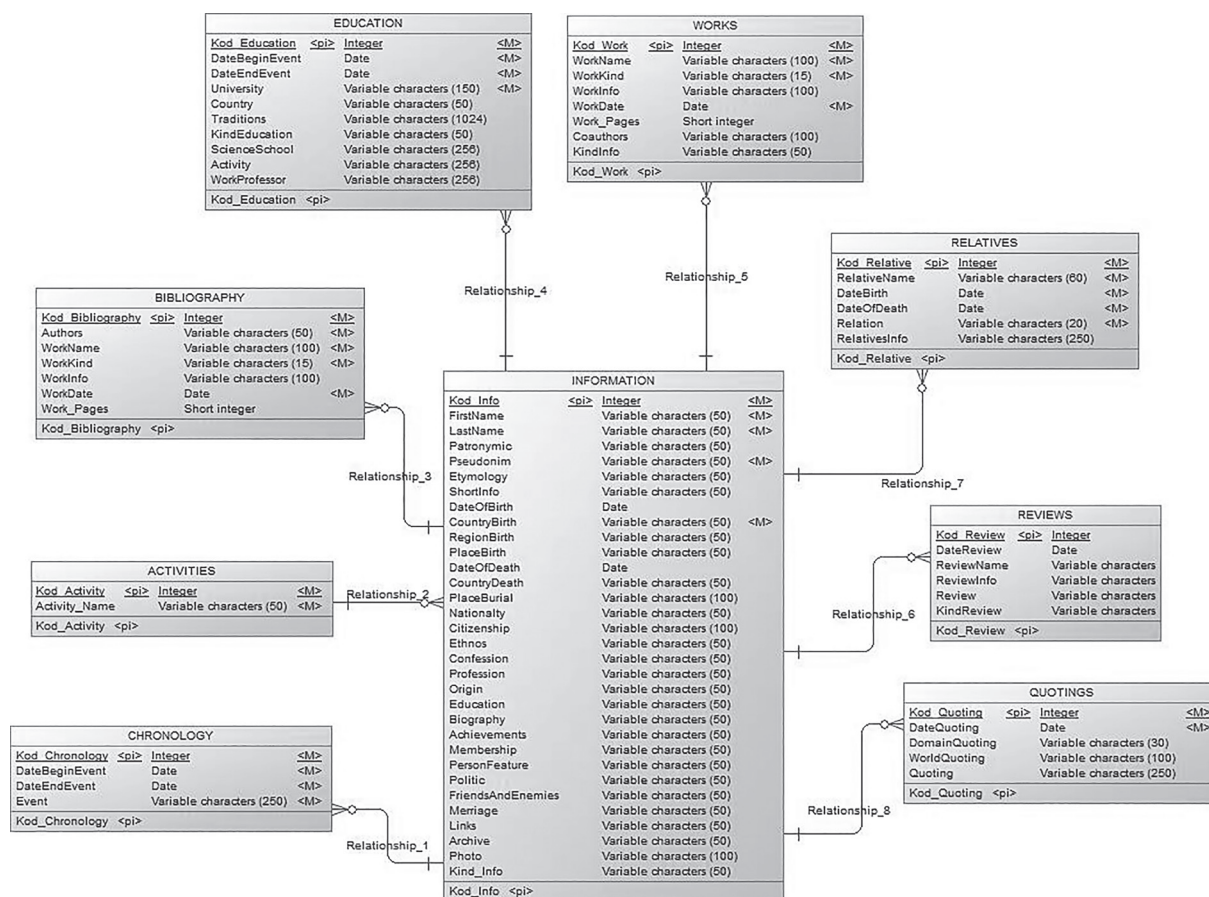


Рис. 3. Модели данных для предметной области, связанной с деятельностью известных личностей

графию человека можно рассматривать как целостную информацию, но не исключается возможность выделения из неё отдельных событий, которые упорядочены в хронологическом порядке.

Большой интерес представляют и суждения, взгляды известного человека по различным вопросам. Поэтому следует хранить информацию о работах, созданных личностью, о его высказываниях (цитатах). С другой стороны, имеет смысл хранить в базе данных и отношения других людей к данной персоне, её деятельности и вкладу в культурное (научное) наследие. Эта информация может быть представлена в виде списка книг, написанных об интересующей нас личности (т. е. библиографии), отзывов известных людей и т. д.

С учетом требований к хранимым данным, а также с возможностью расширения системы при использовании, модель данных для предметной области, связанной с деятельностью известных личностей, представлена на рис. 3. Основными объектами для хранения данных

являются следующие сущности: «Основные сведения» (BASIC) – содержит общую информацию о личности; «Хронология» (CHRONOLOGY) – фиксация событий в жизни личности, «Образование» (EDUCATION) – включает сведения о полученном образовании; «Библиография» (BIBLIOGRAPHY) – основные сведения о работах личности; «Цитаты» (QUOTES) – сущность включает информации об известных изречениях личности; «Отзывы о личности» (REVIEWS OF THE INDIVIDUAL) – отзывы друзей, современников и т. д. о личности в целом; «Работы личности» (WORK PERSONALITY) – основные сведения о работах личности, «Родственники» (RELATIVES) – информация о родственниках; «Область деятельности» (AREA OF ACTIVITY) – область (области) деятельности личности.

Для предметной области, связанной с хранением информации о произведениях художественной ценности модель данных представлена на рис. 4. С учетом модели, полученной ранее [1, 6], для нее уточнены отдельные огра-

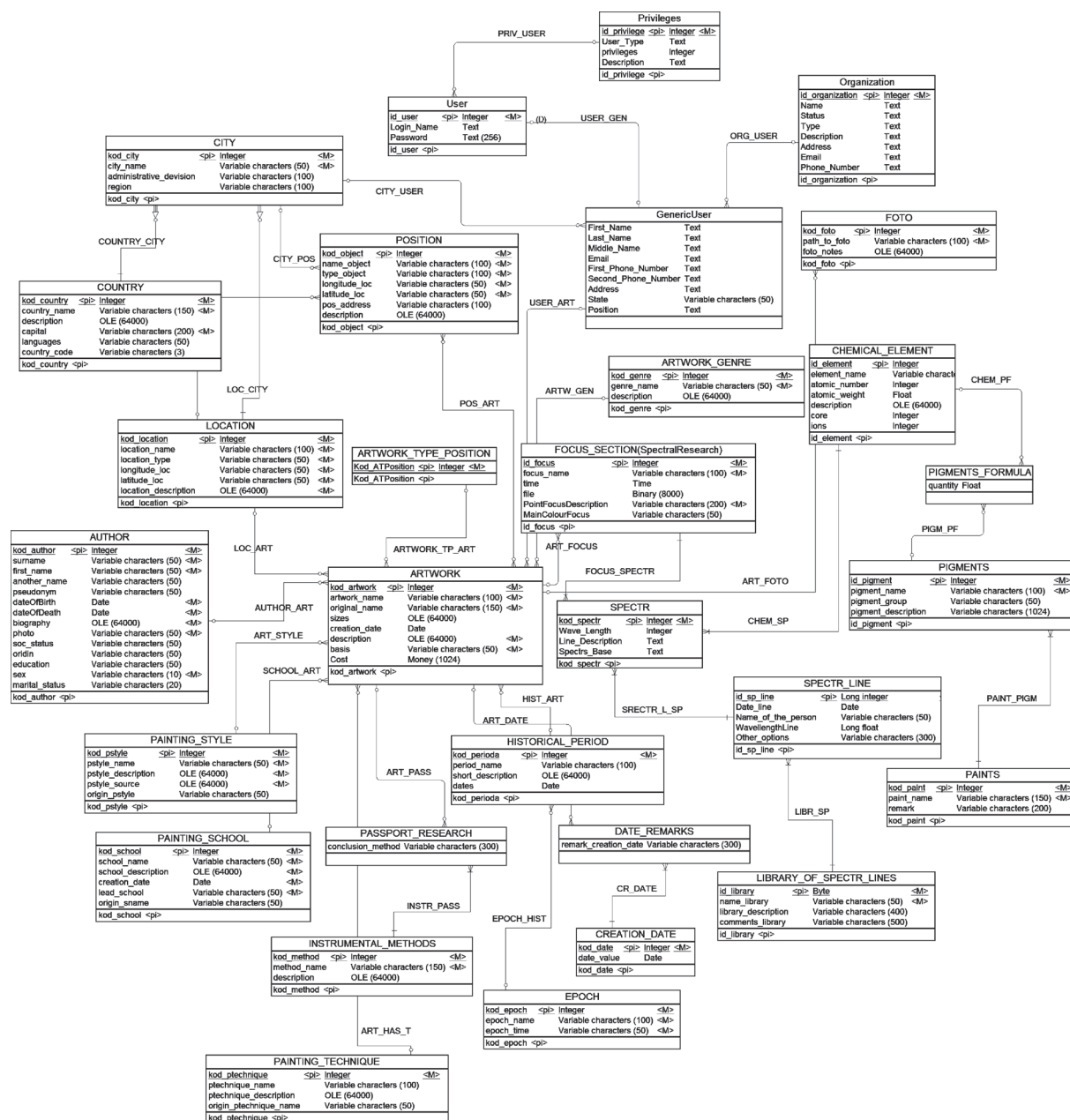


Рис. 4. Фрагмент концептуальной модели данных, связанной с хранением информации о произведениях художественной ценности

нижения предметной области, добавлены объекты (сущности) для хранения информации и соответствующие атрибуты.

Итак, основными сущностями модели данных являются следующие: «Произведение искусства» (ARTWORK) – хранит информацию обо всех художественных объектах, имеющихся в системе; «Автор произведения» (AUTHOR) – информация об авторе; «Исторический период» (HISTORICAL_PERIOD) – исторический период в который было создано произведение; «Фотографии объекта» (FOTO) – фотографии

произведения; «Краски» (PAINTS) – информация о красках (для картин); «Техника» (PAINTING_TECHNIQUE) – техника, в которой создано произведение; «Паспорт исследования» (PASSPORT_RESEARCH); «Страна» (COUNTRY) – страна, где находится художественный объект; «Инструментальный метод» (INSTRUMENTAL_METHODS); «Замечания по дате» (DATE_REMARKS) – замечания по периоду (или дате) создания произведения художественной ценности (актуально для произведений, которые создавались на протяжении опре-

деленного периода времени или же дата создания которых известна лишь приблизительно); «Дата создания» (CREATION_DATE) – дата, которая указывается как время создания художественного объекта, однако, это сущность связана с общими датами в аспекте времени; «Спектр» (SPEKTR) – расшифровка файла спектральных линий для объекта исследований; «Спектральная линия» (SPEKTR_LINE) – набор спектральных линий, которые входят в конкретную библиотеку спектральных линий; «Библиотека спектральных линий» (LIBRARY_OF_SPEKTR_LINES) – информация о библиотеках спектральных линий; «Участки фокусировки» (FOCUS_SECTION (SpectralResearch)) – фиксируются участки спектрального исследования художественного произведения; «Химический элемент» (CHEMICAL_ELEMENT) – информация о химическом элементе; «Пигменты» (PIGMENTS) – информация о пигментах; «Жанр произведения искусства» (ARTWORK_GENRE) – содержит информацию о жанре, к которому относится произведение искусства; «Город» (CITY) – информация городе, где находится (находился) художественный объект; «Положение» (POSITION) – положение карти-

ны; «Местонахождение» (LOCATION) – местонахождение произведения живописи; «Тип местоположения картины» (ARTWORK_TYPE_POSITION) – тип местоположения картины (государственный музей, государственная галерея, частный музей, частная галерея и т. д.); «Эпоха» (EPOCH) – информация об эпохе живописи; «Школа живописи» (PAINTING_SCHOOL) – информация о школе живописи; «Стиль живописи» (PAINTING_STYLE) – информация о стиле написания картины; «Общий профиль пользователя» (GENERIC_USER) – общая информация о пользователях системы; «Пользователь» (USER) – авторизационные данные пользователей системы; «Организация» (ORGANIZATION) – информация об организации, в которой работает пользователь; «Привилегии» (PRIVILEGES) – описаны привилегии, которые доступны тому или иному пользователю в системе.

Следующее направление, на наш взгляд, логичным образом связанное с персоналиями и результатами их деятельности, представляет собой миграционные и демографические процессы.

В современном мире движение населения, связанное как с миграцией, так и с обычным

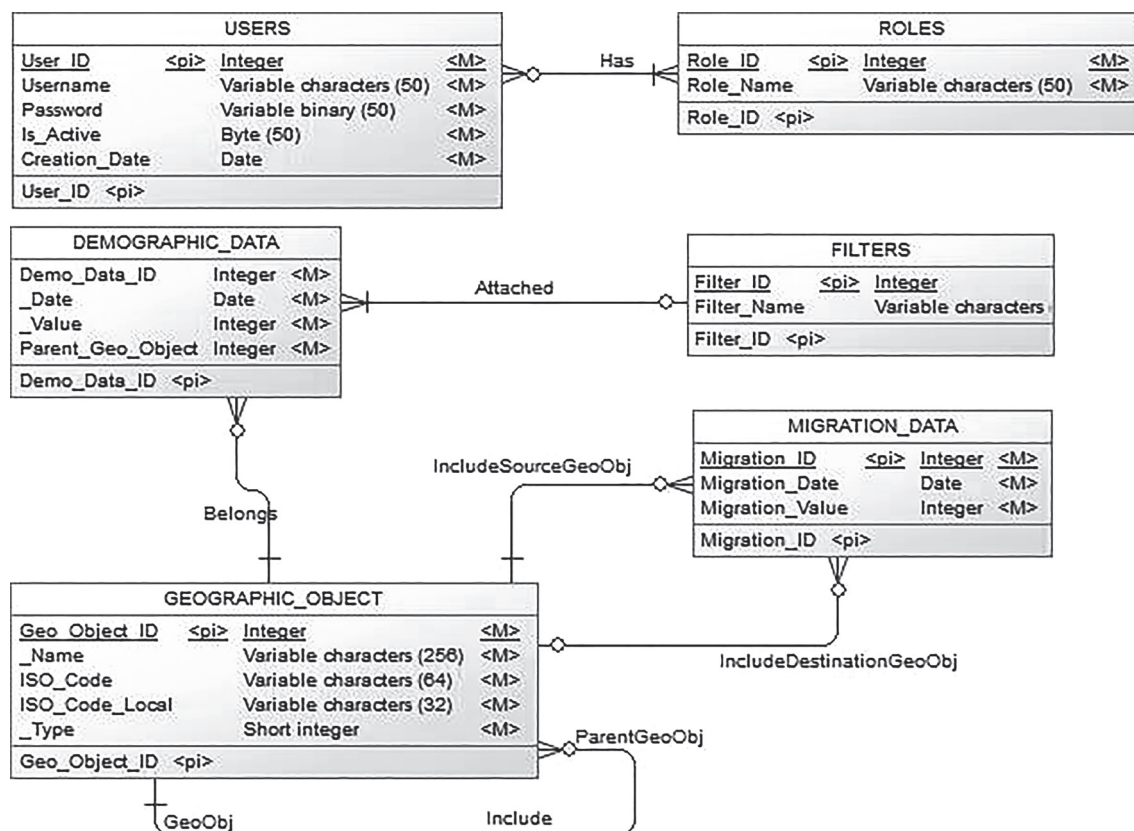


Рис. 5. Фрагмент концептуальной модели данных, связанной с демографическими и миграционными показателями

туризмом, стремительно растет. Этому способствуют высокая интегрированность современного мира, упрощение визового режима между странами, лояльное отношение стран Европы к политической миграции и другие факторы. Сбором статистики такого рода как правило занимаются некоммерческие организации или государственные учреждения.

Сбор таких статистических сведений чаще всего носит изолированный характер и представляет лишь численные показатели выбранных метрик. Полученные данные принимаются как отображение текущего положения. При анализе таких данных интересна, в первую очередь, их связь с внешними факторами, такими, как демографические, политические, социальные или иные побочные факторы, которые могут являться причиной полученных значений или их изменения с течением времени.

Исходя из предметной области, выделены сущности для системы обработки данных, связанных с миграциями населения «Пользователи» (USERS) – пользователи разрабатываемого приложения; «Роли пользователей» (ROLES) – доступные пользователю роли; «Географические объекты» (GEOGRAPHICOBJECTS) – сущность для хранения данных о географическом регионе; «Миграционные данные» (MIGRATIONDATA) – набор всех загруженных в базу данных миграционных данных; «Демографические данные» (DEMOGRAPHICDATA) – набор всех загруженных в базу данных демографических данных; «Демографические показатели» (FILTERS) – доступные демографические показатели. Соответствующая концептуальная модель представлена на рис. 5.

На заключительном этапе произведен анализ и интеграция полученных моделей в еди-

ную схему базы данных. Реализован соответствующий прототип базы данных на основе сервера MS SQL Server. В настоящее время проводятся работы по проектированию и разработке единого хранилища данных на основе открытой архитектуры и проработка вопроса о возможных методах обработки данных, включая построения систем на основе технологии OLAP.

Заключение

В работе изложен общий подход к представлению данных предметных областей практико-ориентированной направленности, связанных с различными видами деятельности людей и являющихся основой общей модели данных для создания единого хранилища данных. Приводится краткая характеристика предметных областей, которые взяты за основу на текущий момент времени, предложены соответствующие модели данных, а также рассмотрена их взаимосвязь между собой в аспекте обработки данных и построения единой системы.

Интересным в дальнейшем, несомненно, представляется разработка универсальной системы, построенной на основе технологии складирования данных, которая способна работать сразу со многими источниками данных, представлять хранимые данные в удобном виде, осуществлять их быстрый поиск, а также проводить как интеллектуальный анализ данных конкретной предметной области, так и отслеживать возможные межпредметные взаимодействия. Например, проследить биографический и творческий путь той или иной личности в аспекте его привязке к местности, аспекте миграционных процессов или же, например, в аспекте простых перемещений.

Литература

1. Рудикова, Л. В. О разработке системы для поддержки лазерной экспрессной экспертизы. Монография / Л. В. Рудикова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 134 с.
2. Барсегян, А. А. Анализ данных и процессов / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.: ил. + CD-ROM.
3. Паклин, Н. Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям (+CD): учеб. пособие. / Н. Б. Паклин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Питер, 2010. – 704 с.: ил.
4. Рудикова, Л. В. Универсальная комплексная система, поддерживающая организацию лазерной экспрессной экспертизы / Л. В. Рудикова // Доклады БГУИР. – 2013. – № 3 (73) – С. 26–32.
5. Рудикова, Л. В. Разработка программного визуализатора спектров для поддержки лазерной экспрессной экспертизы / Л. В. Рудикова // Доклады БГУИР. – 2014. – № 1 (79) – С. 46–52.
6. Рудикова, Л. В. О концепции универсальной системы хранения и обработки данных произведений художественной ценности / Л. В. Рудикова // Фундаментальные проблемы естествознания и техники. Серия: Проблемы исследования Вселенной. – Санкт-Петербург, 2016. – Т. 37, № 2. – С. 209–227.

7. Рудикова, Л. В. О проектировании системы для поддержки экспертизы объектов художественной ценности / Л. В. Рудикова // Информационные системы и технологии: управление и безопасность: сб. ст. IV междунар. заоч. науч.-практ. конф. / Поволж. гос. ун-т сервиса. – Тольятти, 2016. – С. 154–167.
8. Belyi, A. Global multi-layer network of human mobility // Alexander Belyi, Iva Bojic, Stanislav Sobolevsky, Izabela Sitko, Bartosz Hawelka, Lada Rudikova, Alexander Kurbatski, Carlo Ratti / International Journal of Geographical Information Science. – Mode of access: [http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2017.1301455]. – Date of access: [20.04.2017].
9. Community structure in time-dependent, multiscale, and multiplex networks / P. J. Mucha [et al.]. – Science, 2010. – Vol. 328, № 5980. – P. 876–878.
10. Inmon, W. H. Building the Data Warehouse / W. H. Inmon // Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002. – 428 p.
11. Kimbell, R. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Data Warehouses / R. Kimbell, M. Ross // Second Edition. – J. Wiley & Sons, 2002. – 447 p.
12. Примеры реализации хранилищ данных предприятия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.internet-technologies.ru/articles/article_994.html. – Дата доступа: 26.12.2016.

References

1. Rudikova, L. About laser express expertise system implementation. Monography / Lada Rudikova. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 134 p.
2. Barseghyan, A. Data and processes analysis / A. Barseghyan, M. Kupriyanov, I. Kholod, M. Tess, S. Elizarov. – 3rd edition. – StP.: BHV-Petersburg, 2009. – 512 p.: il. + CD-ROM.
3. Paklin, N. Business-analytics: from data to knowledge (+CD) / N. Paklin, V. Oreshkov. – 2nd edition. – StP.: Piter, 2010. – 704 p.: il.
4. Rudikova, L. An universal complex system of laser express expertise organization // L. Rudikova / Doklady BGUIR. – 2013. – № 3 (73) – P. 26–32.
5. Rudikova, L. Software specter visualizer for laser express expertise support. // L. Rudikova / Doklady BGUIR. – 2014. – № 1 (79) – P. 46–52.
6. Rudikova, L. V. On the concept of an universal system for storing and processing artwork objects data / L. V. Rudikova // Fundamental Problems of Natural Science and Technology. Series: Problems of the study of the universe. – St. Petersburg, 2016. – P. 37, № 2. – P. 209–227.
7. Rudikova, L. V. On the design of the system for the support of the examination of artwork objects / L. V. Rudikova // Information Systems and Technologies: Management and Security: Sat. Art. IV international correspondence scientific-practical conference / Povolzhsky State University of Service. – Togliatti: Publishing house of VGUS, 2016. – P. 154–167.
8. Belyi, A. Global multi-layer network of human mobility // Alexander Belyi, Iva Bojic, Stanislav Sobolevsky, Izabela Sitko, Bartosz Hawelka, Lada Rudikova, Alexander Kurbatski, Carlo Ratti / International Journal of Geographical Information Science. – Mode of access: [http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2017.1301455]. – Date of access: [20.04.2017].
9. Community structure in time-dependent, multiscale, and multiplex networks / P. J. Mucha [et al.]. – Science, 2010. – Vol. 328, № 5980. – P. 876–878.
10. Inmon, W. H. Building the Data Warehouse / W. H. Inmon // Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002. – 428 p.
11. Kimbell, R. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Data Warehouses / R. Kimbell, M. Ross // Second Edition. – J. Wiley & Sons, 2002. – 447 p.
12. Implemented data ware houses of company examples [Electronic source] / Internet-technologies. – Mode of access: http://www.internet-technologies.ru/articles/article_994.html. – Date of access: 26.12.2016.

Поступила
02.05.2017

После доработки
12.06.2017

Принята к печати
10.09.2017

Rudikova, L. V. Zhavnerko E. V.

ABOUT DATA MODELING SUBJECT DOMAINS PRACTICE-ORIENTED DIRECTION FOR UNIVERSAL SYSTEM OF STORAGE AND PROCESSING DATA

This article describes data modeling for practice-oriented subject domains they are basis of general data model for data warehouse creation. Describes short subject domains characteristic relationship to different types of any human activities at the current time. Offered appropriate data models, considered relationship between them as data processing and data warehouse creation, which can be built on information data storage technology and which has some characteristics as extensible complex subject domain, data integration, which get from any data sources, data time invariance with required temporal marks, relatively high data stability, search necessary compromises in data redundancy, system blocks modularity, flexibility and extensibility of architecture, high requirements to data storage security. It's proposed general approach of data collection and data storage, appropriate data models, in the future, will integrate in one database scheme and create generalized scheme

of data warehouse as type «constellation of facts». For getting of data models applies structural methodology and consider general principles of conceptual design. Using complex system, which can work with some information sources and represent data in convenient view for users will in-demand for analysis data selected subject domains and determination of possible relationships.

Keywords: data warehouse, subject domain, universal system, data scheme, structural methodology, practice-oriented data



Lada Rudikova is the Head of Modern Programming Technologies Department of Yanka Kupala State University of Grodno (YKSUG). Ph. D. degree in physical and math.

The main line of her scientific researches – management theory, information systems design, databases, CASE, data mining, business intelligence. She actively participates in international conferences. She is the author of more than 280 scientific works and books related to computer technology and data processing, a technical writer of the publishing house «BHV-St Petersburg»



Eugene Zhavnerko is the senior lecturer of Modern Programming Technologies Department of Yanka Kupala State University of Grodno (YKSUG). Master's degree in technical sciences.

The leading activities of his scientific researches – information systems design, database, CASE, data mining, business intelligence, modern approaches to software development.

Результаты работы получены в процессе выполнения ГПНИ «Разработка методологии и средств построения универсальных систем хранения, обработки и анализа структурированных данных большого объема практико-ориентированной направленности».

УДК 517.977

А. С. АБУФАНАС, А. А. ЛОБАТЫЙ, Ю. Ф. ЯЦЫНА

АНИЗОТРОПИЙНЫЙ РЕГУЛЯТОР ДЕМПФИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача демпфирования случайных воздействий на подвижную платформу с размещенной на ней системой мониторинга земной поверхности, установленную на беспилотном летательном аппарате. В качестве внешнего воздействия рассматривается случайная турбулентность атмосферы, описываемая с помощью формирующего фильтра, на вход которого поступает белый шум. Система мониторинга с подвижной платформой рассматривается как система управления, критерием оптимальности которой предлагается использовать критерий качества стохастической нормы системы, которая количественно характеризует чувствительность выхода системы к случайным входным возмущениям, вероятностное распределение которых известно не точно. Это приводит к специальному варианту стохастической нормы – анизотропийной норме. Рассматривается методика построения робастной системы фазового управления с применением анизотропийного регулятора. Путем математического моделирования получены коэффициенты оптимального регулятора.

В качестве примера для оценки работоспособности предлагаемого алгоритма рассматривается один из каналов управления подвижной платформы, заданный дискретной математической моделью второго порядка. Представлены качественные иллюстрации работоспособности предлагаемого алгоритма и количественные характеристики изменения выходных сигналов. Применение анизотропийных регуляторов в системах демпфирования случайных воздействий является перспективным, так как позволяет снизить влияние на качество работы системы неопределенностей, обусловленных различиями между выбранной математической моделью и реальной оптимизируемой системой.

Ключевые слова: подвижная платформа, демпфирование, турбулентность, анизотропийный регулятор.

Введение

Большое распространение в настоящее время имеют беспилотные летательные аппараты (БЛА), одной из основных задач которых является мониторинг земной поверхности или объектов, находящихся на земле. Для решения задач мониторинга на борту БЛА устанавливается оптическая или радиотехническая аппаратура, размещенная на кардановом подвесе (на подвижной платформе), имеющем две степени свободы относительно корпуса БЛА. Управление (разворот) подвижной платформы относительно корпуса БЛА осуществляется специальным приводом. На БЛА в зависимости от задач, выполняемых системой мониторинга, могут использоваться следующие типы приводов: гидравлические, электрические, гироскопические [1, 2].

Гидравлические приводы обладают высоким быстродействием, большой мощностью

и могут успешно применяться на БЛА больших габаритов и массы, у которых на подвижной платформе размещается массивная аппаратура и имеется возможность разместить на борту БЛА достаточно сложный, дорогостоящий гидропривод. Самым высоким быстродействием обладает гироскопический привод, который благодаря своей конструкции позволяет не только управлять подвижной платформой, но и демпфировать внешние случайные высокочастотные воздействия. Для использования на серийных БЛА там, где не требуется высокое быстродействие, и большая мощность наиболее широкое распространение получили электрические приводы, в которых, как правило, применяются вентильные электродвигатели постоянного тока с импульсным управлением [3].

Среди внешних факторов, оказывающих нежелательное воздействие на работу разме-

щенной на борту БЛА системы мониторинга земной поверхности, следует отметить влияние случайного ветра и турбулентности атмосферы. Ветер – относительно медленное перемещение воздушных масс представляет собой векторную величину, состоящую из трех составляющих W_x , W_y , W_z . При этом скорости восходящих и нисходящих потоков W_y как правило невелики и на порядок или в разы меньше горизонтальных потоков W_x и W_z . Хаотическое, неупорядоченное движение воздуха накладывается на горизонтальное перемещение воздушных масс и приводит к неустойчивости ветра особенно вблизи поверхности земли. Интенсивность турбулентности зависит от скорости ветра, рельефа земной поверхности и устойчивости перемещения воздушных масс [4].

Ветер и турбулентность атмосферы – случайные факторы, действующие на летательный аппарат и приводящие к появлению случайных составляющих в векторе скорости БЛА. При этом случайным образом изменяются углы атаки и скольжения БЛА, влияющие на точность решения задачи мониторинга аппаратурой, установленной на борту БЛА. При решении большинства задач, связанных с изучением влияния атмосферы, считают, что в пределах области пространства, в которой рассматривается движение летательного аппарата, поле турбулентности является изотропным, имеющим одинаковость физических свойств во всех направлениях. В рамках теории случайных процессов исчерпывающей характеристикой изотропного поля являются корреляционные функции поперечного (бокового) и продольного перемещений воздушного потока, выражения для которых имеют вид [4, 5].

$$K_x = \sigma_T^2 \exp(-|\tau| T^{-1}), \quad (1)$$

$$K_z = \sigma_T^2 [1 - |\tau| (2T)^{-1}] \exp(-|\tau| T^{-1}), \quad (2)$$

где σ_T характеризует интенсивность турбулентности; $T = LV^{-1}$ – время прохождения БЛА масштаба турбулентности L , который определяет уровень корреляции между воздушными порывами в различных точках пространственного поля турбулентности; V – скорость БЛА. Принято считать, что до высот полета БЛА $H \approx 500$ м $L \approx H$ при полете над равнинной местностью и $L \approx 2H$ при полете над холмистой местностью и горами. На больших высотах пара-

метр L существенно зависит от климата и метеорологических условий. При $\sigma_T < 0.5$ м/с турбулентность является слабой, а при $\sigma_T > 2.5$ м/с – сильной [5].

Случайным процессам, имеющим корреляционные функции (1)–(2), соответствуют уравнения формирующих фильтров [6]. Для продольной составляющей турбулентности уравнения формирующего фильтра имеют вид

$$x_1(t) = \xi(t), \quad (3)$$

$$x_2(t) = \dot{x}_1(t) = K_{\xi 1} x_1(t) + b_1 q(t), \quad x_1(t_0) = x_{10}, \quad (4)$$

где $K_{\xi 1} = -T^{-1}$, $b_1 = \sigma_T \sqrt{2T^{-1}}$, ξ – белый шум. Для поперечной (боковой) составляющей турбулентности уравнения формирующих фильтров имеют вид

$$x_1(t) = \xi(t), \quad (5)$$

$$\dot{x}_1(t) = x_1(t) + b_1 q(t), \quad x_1(t_0) = x_{10}, \quad (4)$$

$$\dot{x}_2(t) = K_{\xi 1} x_1(t) + K_{\xi 2} x_2(t) + b_2 q(t), \quad (6)$$

$$x_2(t_0) = x_{20},$$

где

$$K_{\xi 1} = -T^{-1}, \quad K_{\xi 2} = -2T^{-1},$$

$$b_1 = \sigma_T \sqrt{2T^{-1}}, \quad b_2 = (1 - 2\sqrt{3})\sigma_T T^{-3/2}.$$

Если в системе мониторинга применяется гироскопический привод в виде гиростабилизированной платформы, с которой жестко механически связана оптическая (радиотехническая) система мониторинга, то случайное воздействие турбулентности на подвижную платформу БЛА в значительной степени устраняется (демпфируется) гироскопами привода. При применении электрического привода подвижной платформы системы мониторинга БЛА необходимо применять дополнительные устройства, компенсирующие (демпфирующие) влияние турбулентности атмосферы.

Постановка задачи демпфирования

Структурную схему системы управления подвижной платформой системы мониторинга БЛА представим в виде, изображенном на рис. 1.

На вход КД с ПНК поступает зашумленная турбулентностью атмосферы информация $Z(t)$ о пространственном (линейном и угловом) положении БЛА $X(t)$, которая поступает на вход ПНК. КД вырабатывает сигнал демпфирования $U(t)$, поступающий на вход БФСУ.

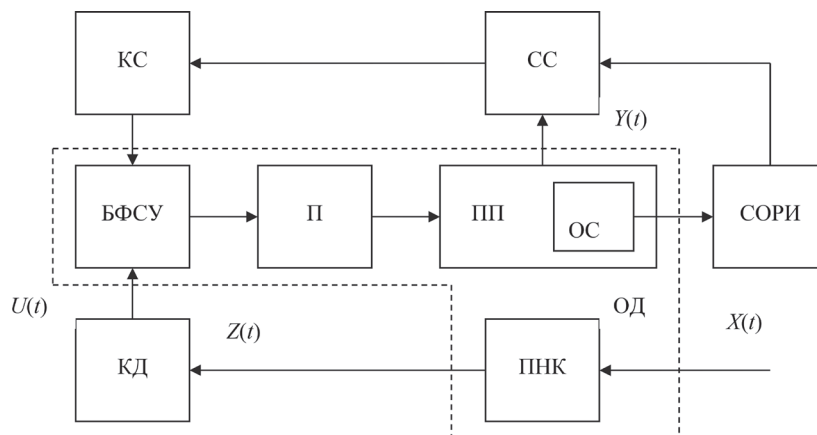


Рис. 1. Система управления подвижной платформой БЛА: ПП – подвижная платформа БЛА, на которой установлена оптическая система ОС; СОРИ – система обработки и распознавания изображения; СС – система слежения за наземными объектами (оператор); КС – канал (регулятор) слежения; КД – канал (регулятор) демпфирования; ПНК – пилотажно-навигационный комплекс; БФСУ – блок формирования сигналов управления; П – привод платформы (электрический); ОД – приведенный объект демпфирования

При синтезе оптимального КД необходимо выбрать метод и критерий оптимизации. В данном случае очевидно, что при синтезе КД необходимо учитывать неопределенность в описании объекта синтеза. Эта неопределенность заключается в неточно заданных коэффициентах математической модели объекта управления или другое соответствующее различие выбранной математической модели и реальной системы.

Представляет интерес рассмотрение в качестве критерия оптимальности канала (регулятора) демпфирования H_∞ -нормы многомерной передаточной функции замкнутой системы [7], представляющей собой энергию выхода системы при подаче на вход сигнала с единичной энергией. При этом, если выходом является ошибка, а входом – возмущение, то, минимизируя H_∞ -норму, мы минимизируем энергию ошибки для наихудшего случая входного возмущения. Стохастический подход к H_∞ -оптимизации систем автоматического управления основан на использовании критерия качества стохастической нормы системы, которая количественно характеризует чувствительность выхода системы к случайным входным возмущениям, вероятностное распределение которых известно не точно. Это приводит к специальному варианту стохастической нормы – анизотропной норме системы, которая характеризует ее чувствительность к входным гауссовым шумам, средняя анизотропия которых ограничена сверху неким неотрицательным параметром α .

Для физически реализуемой линейной стационарной системы с передаточной функцией W , функционирующей в дискретном времени анизотропная норма определяется следующим образом [8]:

$$||| W ||| = \sup \left\{ \frac{\| W W_\Phi \|}{\| W \|_2} : W_\Phi \in W_a \right\}, \quad (7)$$

где $\| W \|_2 = \left(\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |W(j\omega)|^2 d\omega \right)^{1/2}$ – 2-норма передаточной функции, W_Φ – передаточная функция формирующего фильтра, который получает стационарную гауссову последовательность из белого шума. W_a – множество формирующих фильтров, генерирующих гауссовы последовательности, средняя анизотропия которых ограничена сверху заданным неотрицательным параметром a . $||| W |||$ характеризует чувствительность системы в среднем к случайным входным возмущениям с уровнем средней анизотропии a . Использование анизотропной нормы системы является важным в ситуации, когда о входном сигнале известно только то, что он сгенерирован из гауссова белого шума с помощью неизвестного формирующего фильтра W_Φ .

Так как информация на борту БЛА обрабатывается в бортовом процессоре в дискретной форме, то будем считать, что система управления подвижной платформой и связанных с ней элементов в общем случае описываются разностными уравнениями

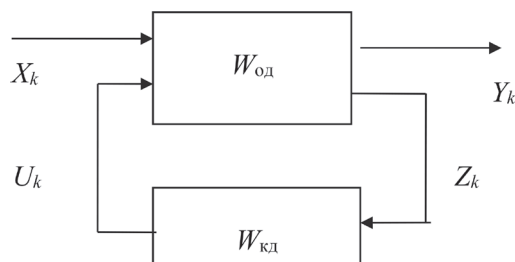


Рис. 2. Система демпфирования подвижной платформы БЛА

$$\begin{cases} X_{k+1} = AX_k + B_1V_k + B_2U_k, \\ Y_{k+1} = C_1X_k + D_{11}V_k + D_{12}U, \\ Z_{k+1} = C_2X_k + D_{21}V_k, \end{cases} \quad (8)$$

где X_k – n -мерный вектор состояния объекта демпфирования; V_k – m -мерный вектор случайного процесса, характеризующего турбулентность; Y_k – p -мерный вектор выходного сигнала подсистемы демпфирования; Z_k – q -мерный вектор наблюдения; U_k – l -мерный вектор управления (демпфирования), A, B_i, C_j, D_{ij} ($i, j = 1, 2$) – постоянные матрицы соответствующих размерностей.

Систему демпфирования с анизотропным регулятором представим в следующем виде (рис. 2). На рис. 2 в соответствии с обозначениями, приведенными на рис. 1, обозначено: $W_{од}$ – передаточная функция приведенного объекта управления (подвижной платформы); $W_{кд}$ – передаточная функция анизотропного регулятора (канала) демпфирования; Z_k – вектор навигационных параметров, поступающих с ПНК, включающих линейные и угловые составляющие вектора скорости БЛА, а также случайные помехи, вызванные турбулентностью атмосферы. $Y_k = [\varphi_{\hat{a}k}(t), \varphi_{\hat{a}k}]^T$ – вектор выходных сигналов подсистемы демпфирования, включающий вертикальные и горизонтальные углы ориентации подвижной платформы относительно заданной инерциальной системы координат.

Пусть регулятор демпфирования $W_{кд}$ имеет h -мерное внутреннее состояние (матрицу H), связанное с сигналами наблюдения Z_k и управления U_k рекуррентными формулами

$$\begin{cases} H_{k+1} = \hat{A}H_k + \hat{B}Z_k, \\ U_k = \hat{C}H_k, \end{cases} \quad (9)$$

где $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$ – неизвестные постоянные матрицы соответствующих размерностей.

Задача состоит в определении матриц $\hat{A}, \hat{B}, \hat{C}$, описывающих оператор $W_{кд}$ в пространстве состояний, таких, что минимизируется α -анизотропная норма замкнутой системы $\Phi(W_{од}, W_{кд})$, описываемой выражениями (8) и (9). Формула для вычисления α имеет вид [8]:

$$\|\alpha(W, W_{кв})\| = \left\{ \frac{1}{q} \left[1 - \frac{m_1}{\text{tr}\{LPL^T + S\}} \right] \right\}^{1/2} \quad (10)$$

При нулевой средней анизотропии $a = 0$ система уравнений для оптимального демпфирующего регулятора сводится к двум независимым уравнениям Риккати размерности $n \times n$.

$$\begin{cases} \hat{A} = A + B_2N - \Lambda C_2, \\ \hat{B} = \Lambda, \\ \hat{C} = N, \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} S = ASA^T + B_1B_1^T - \Lambda\Theta\Lambda^T, \\ \Theta = C_2SC_2^T + D_{21}D_{21}^T, \\ \Lambda \equiv [ASC_2^T + B_1D_{21}^T]\Theta^{-1}, \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} T = A^T TA + C_1^T C_1 - N^T \Pi N, \\ \Pi = B_2^T TB_2 + D_{12}^T D_{12}, \\ N = -\Pi^{-1} [B_2^T TA + D_{12}^T C_1]. \end{cases} \quad (13)$$

При этом матрицы $A - \hat{B}\hat{C}_2$ и $A + B_2\hat{C}$ асимптотически устойчивы, а выражения (16)–(18) представляют собой H_2 -оптимальный регулятор.

Исследования показывают, что для конкретных условий применение H_2 - или H_∞ -регулятора обусловлено типом действующих на систему шумов. Так H_2 -оптимальный регулятор не обеспечивает требуемого качества управления системой, если на входе системы – случайный процесс в виде сильно окрашенного

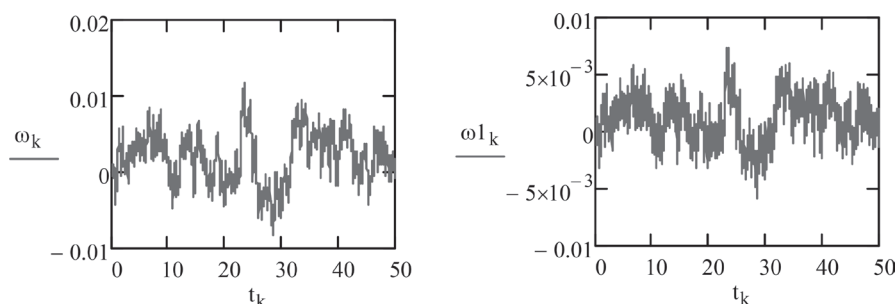


Рис. 3. Графики изменения угловой скорости подвижной платформы

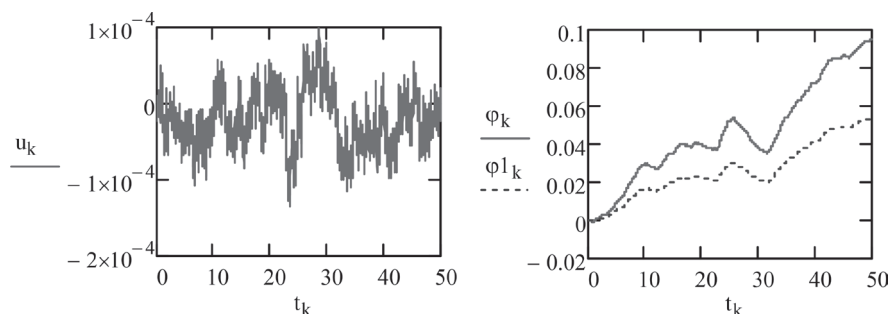


Рис. 4. Графики изменения управляющего сигнала демпфирования и ошибки определения ориентации подвижной платформы

(коррелированного) случайного шума. В то же время H_∞ -регулятор проявляет излишнюю чувствительность к характеристикам входного сигнала если на входе системы белый шум или близкий к нему (слабо коррелированный) случайный процесс.

Пример. Пусть один из каналов управления подвижной платформой БЛА описывается системой разностных уравнений

$$\begin{cases} x_{k+1} = ax_k + b_1 v_k + b_2 u_k, \\ y_{k+1} = c_1 x_k + d_{11} v_k + d_{12} u_k, \\ z_{k+1} = c_2 x_k + d_{21} v_k \end{cases} \quad (14)$$

при следующих значениях коэффициентов: $a = -0.03$, $b_1 = 0.02$, $b_2 = 1$, $c_1 = -0.03$, $d_{11} = 1$, $c_2 = d_{11} = 1$. Рекуррентные выражения (9), в данном случае имеют вид $u_k = \hat{c}H_{k+1}$ и $H_{k+1} = \hat{a}H_k + \hat{b}Z_k$. В соответствии с (11)–(13) путем последовательных вычислений определяются искомые коэффициенты оптимального регулятора, которые принимают следующие значения: $\hat{a} = -0.108$, $\hat{b} = 0.018$, $\hat{c} = 0.06$.

На рис. 3, 4 представлены результаты моделирования, полученные в среде Mathcad. На рис. 3 – графики изменения угловой скорости подвижной платформы, вызванной турбулент-

ностью атмосферы при отсутствии демпфирования $\omega_k(t_k)$ и при наличии демпфирования $\omega1_k(t_k)$. На рис. 4 – графики изменения управляющего сигнала демпфирования $u_k(t_k)$ и графики изменения ошибки определения угловой ориентации подвижной платформы без регулятора демпфирования $\phi_k(t_k)$ и с регулятором $\phi1_k(t_k)$, соответственно.

Заключение

Применение анизотропных регуляторов демпфирования случайных внешних воздействий на подвижную платформу БЛА или другой подобной технической системы является перспективным, так как позволит снизить влияние на качество работы системы неопределенностей, обусловленных различиями между выбранной математической моделью и реальной оптимизируемой системой. Результаты математического моделирования показывают, что применение таких регуляторов позволяет в конкретных условиях существенно уменьшить ошибку определения угловой ориентации подвижной платформы, что в свою очередь повысит эффективность работы системы мониторинга, установленной на БЛА.

Литература

1. **Беспилотные** летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / под ред. И. С. Голубева, И. К. Туркина. – М.: МАИ, 2010. – 654 с.

2. **Управление** и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Серебрякова. – М.: Физматлит, 2005. – 280 с.
3. **Абуфанас, А. С.** Импульсное управление гибридной электротехнической системой / А. С. Абуфанас, А. А. Лобатый, Ю. Н. Петренко, И. Эльзейн // Системный анализ и прикладная информатика, 2016. № 4(12). – С. 46–52.
4. **Дмитриевский, А. А.** Внешняя баллистика / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.
5. **Доброленский, Ю. П.** Динамика полета в неспокойной атмосфере / Ю. П. Доброленский. – М.: Машиностроение, 1969. – 256 с.
6. **Справочник** по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
7. **Бойченко, В. А.** О нижней границе анизотропийной нормы линейной стохастической системы / В. А. Бойченко, А. П. Курдюков // Автоматика и телемеханика, 2017. № 4. – С. 78–91.
8. **Методы** классической и современной теории автоматического управления: в 5 тт. / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 3 т. – 616 с.
9. **Лобатый, А. А.** Применение анизотропного регулятора в системе фазового управления / А. А. Лобатый, М. В. Почебут // Доклады БГУИР. – 2009. – № 7 (45). – С. 33–37.

References

1. **Unmanned** aerial vehicles. Fundamentals of the device and functioning / ed. I. S. Golubeva, I. K. Turkina. – Moscow: MAI, 2010. – 654 p.
2. **Control** and guidance of unmanned maneuverable aircraft based on modern information technologies / Ed. M. N. Krasil'shchikova, G. G. Serebryakova. – Moscow: Fizmatlit, 2005. – 280 p.
3. **Aboufanass, A. S.** Pulse control of a hybrid electrical system / A. C. Aboufanass, A. A. Lobaty, Yu. N. Petrenko, I. Elzeyne // System Analysis and Applied Informatics, 2016. № 4 (12). – P. 46–52.
4. **Dmitrievsky, A. A.** External Ballistics. Dmitrievsky, L. N. Lysenko. – M.: Mechanical Engineering, 2005. – 608 p.
5. **Dobrolensky, Yu. P.** Flight dynamics in a turbulent atmosphere / Yu. P. Dobrolensky. – M.: Mechanical Engineering, 1969. – 256 p.
6. **Handbook** on the theory of automatic control / ed. A. A. Krasovskiy. – Moscow: Nauka, 1987. – 712 p.
7. **Boychenko, V. A.** On the lower boundary of the anisotropic norm of a linear stochastic system. Boychenko, A. P. Kurdyukov // Automation and Telemechanics, 2017. № 4. – P. 78–91.
8. **Methods** of classical and modern theory of automatic control: in 5 vols. / Ed. K. A. Pupkov and N. D. Egupova. – M.: Publishing house MSTU. N. E. Bauman, 2004. – 3 tons – 616 with.
9. **Lobaty, A. A.** Application of an anisotropic regulator in a phase control system. Lobaty, M. V. Pochebut // Reports of BSUIR. – 2009. – No. 7 (45). – P. 33–37.

Поступила
20.06.2017

После доработки
12.08.2017

Принята к печати
10.09.2017

Aboufanass A. S., Lobaty A. A., Yacina Y. F.

ANISOTROPIC REGULATOR OF DAMPING OF RANDOM VIBRATIONS OF THE MOBILE PLATFORM OF A BILAMENT VEHICLE APPARATUS

Belarusian National Technical University

The problem of damping of random effects on a mobile platform with a system for monitoring the earth's surface installed on an unmanned aerial vehicle is considered. As an external influence, we consider the random turbulence of the atmosphere, described with the aid of a shaping filter, to which white noise enters.

Monitoring system with a mobile platform is considered as a control system, the criterion of optimality of which is proposed to use the criterion of quality of the stochastic norm of the system, which quantitatively characterizes the sensitivity of the output of the system to random input disturbances whose probabilistic distribution is not known accurately. This leads to a special variant of the stochastic norm-the anisotropic norm. A technique for constructing a robust phase control system using an anisotropic regulator is considered. The coefficients of the optimal regulator are obtained by mathematical modeling.

As an example for evaluating the operability of the proposed algorithm, one of the control channels of the mobile platform, defined by a discrete mathematical model of the second order, is considered. Qualitative illustrations of the operability of the proposed algorithm and quantitative characteristics of the change in output signals are presented. The use of anisotropic regulators in damping systems of random effects is promising, since it allows to reduce the influence on the quality of the system operation of uncertainties caused by the differences between the chosen mathematical model and the real optimized system.

Keywords: mobile platform, damping, turbulence, anisotropic regulator.



Абуфанас Альседдик Салем Ахмед (Abufanas Alseddig Salem Ahmed)

Аспирант кафедры «Информационные системы и технологии» БНТУ, обучается по специальности «Системный анализ, управление и обработке информации»

Пр. Независимости 65, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

Тел.: + 37517292–15–01, upnkvk@bntu.by

Post Graduate student, Department of «Information Systems and Technologies» BNTU, field of study «System Analysis, Control and Data Processing».



Lobaty A. A. Doctor of science, professor. in 2000 he established chair «information systems and technologies» in belorussian national technical university, department of «international institute of distance education». his research interests include algorithms, concepts, and architecture for digital signal processing systems. he has extensive consulting experience in control of unmanned aerial vehicles. he is author and coauthor of many papers in scientific magazines, conference proceedings, and a number of books. he has number of university and state awards for achievements in teaching and research.

E-mail: lobaty@tut.by



Yacina Y. F.

Director of the State Research and Production Enterprise unmanned multipurpose complexes. A specialist in the field of research and development of control systems of mobile robotic systems for various economic purposes. Head of research and development work on the creation of unmanned aerial vehicles.

E-mail: yanvad003@gmail.com

УДК 711.4-112

Л. Н. КОВАЛЬСКИЙ, В. А. СМІЛКА

ОБЗОР ЕВРОПЕЙСКИХ ПРОГРАММ СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Модель устойчивого развития территории должна находиться в состоянии контроля и управления. Система градостроительного мониторинга Украины в полной мере не обеспечивает информацией об уровне устойчивого развития населенных пунктов и регионов. Поэтому необходимо создавать системы для контроля показателей устойчивости развития населенных пунктов и регионов. Задачей этого исследования является анализ существующих программ стимулирования устойчивого развития в странах Европы и разработка рекомендаций по необходимости организации таких систем в Украине и усовершенствования системы градостроительного мониторинга. В статье описаны такие системы и программы: URBACT – программа обмена передовым опытом между городами с помощью создания тематических групп. Миссия URBACT заключается в разработке комплексных решений городских проблем путем создания тематических групп муниципалитетов городов разных стран, выявления передового опыта с целью улучшения городской политики; URBAN AUDIT – большой набор статистической информации. Основная цель системы заключается в предоставлении объективных и пригодных для сравнения статистических данных о европейских городах; URBAN ATLAS – обеспечивает общеевропейское сравнение данных о землепользовании городов. Информация ведется в виде открытых геопространственных данных. Система направлена на содействие работе по планированию территории и учету объектов. Необходимо перенимать передовой опыт внедрения технологии устойчивого развития и применять его в других странах, которые выбрали модель своего развития модель устойчивого развития территории. Существующую сегодня в Украине систему градостроительного мониторинга необходимо усовершенствовать и наделить ее новой задачей – учетом показателей устойчивого развития территорий. Эта система наиболее подходит для выполнения такой задачи, поскольку градостроительный мониторинг ведет учет определенных показателей в виде пространственных данных.

Ключевые слова: устойчивое развитие, город, URBACT, URBAN AUDIT, URBAN ATLAS, градостроительный мониторинг

Введение

Для управления городом как сложной социально-экологической, экономико-пространственной системой необходимо постоянно наблюдать за элементами системы, усовершенствовать связи, выявлять закономерности, планировать и контролировать развитие.

Значительный вклад в развитие идеи устойчивого развития внесен такими зарубежными учеными Дж. М. Хулс [1], Кейтс Р. В. [2], Лейзерович А. А., Пэррис Т. М. Петер Нейман [3]. В постсоветских странах это направление также исследовали Александрович Я. М. [4], Быков А. А. [5], Гопций Д. О., Данилишин Б. М., Ксенович М. Я. [6], Нудельман В. И., Устинова И. И., Химинец В. В., Шостак Л. Б., которые занимались проблемами устойчивого развития природных ресурсов и урбанизированных территорий.

Украина планирует последующее градостроительное развитие на основе модели устойчивого развития территорий. Сегодня в Украине имеются программы по фиксации социально-экономических показателей Украины, которые ведутся на макроуровне для расчета глобальных показателей устойчивого развития страны, но нет системы, в которой ведется учет социально-экономико-технических показателей устойчивого развития населенных пунктов и отдельных регионов. Такой системой может быть градостроительный мониторинг [7], при наличии во всех населенных пунктах полного комплекса градостроительной документации (генеральный план – план зонирования территории – детальный план территории (в случае необходимости)).

Задачей этого исследования является анализ существующих программ стимулирования

устойчивого развития в странах Европы и разработка рекомендаций по необходимости организации таких систем в Украине и усовершенствования системы градостроительного мониторинга.

Основная часть исследования

В Европейском союзе подавляющее большинство населения сосредоточено в крупных и малых городах, и лишь четверть европейцев проживает на сельских территориях. Большие и малые города являются центрами культурной, политической, социальной и экономической жизни, они играют решающую роль в развитии Европы. Поэтому для должностных лиц, принимающих решения в ЕС на любом уровне – национальном, региональном или местном – необходимо четкое представление об экономических и социальных процессах, происходящих в городах и на прилегающих к ним территориях.

Европейские города имеют ряд инструментов для поддержки и оценки развития городов в соответствии с политикой объединения. Они включают в себя следующие программы: URBACT, URBAN AUDIT, URBAN ATLAS.

Рассмотрим более подробно указанные программы, проведем их сравнительный анализ, изучим принципы отбора городов-участников проектов.

URBACT – программа обмена передовым опытом между городами посредством создания тематических групп. Миссия URBACT заключается в разработке комплексных решений городских проблем путем создания тематических групп муниципалитетов городов разных стран, выявления передового опыта с целью улучшения городской политики. После успеха проектов URBACT I и II, была разработана программа URBACT III, рассчитанная на 2014–2020 гг., целью которой является содействие устойчивому комплексному городскому развитию и реализации стратегии Европа-2020 [8].

Программа URBACT III организована для достижения трех основных целей:

1. Повышения потенциала городов в сфере управления устойчивым городским развитием.
2. Улучшения практической реализации положений устойчивого развития в городах.
3. Создания платформы по обмену знаниями, для того, чтобы лица, принимающие реше-

ния на всех уровнях, могли делиться новшествами по всем аспектам устойчивого городского развития с целью совершенствования политики развития городов [8].

Программы рассчитаны на руководителей городов, депутатов различных уровней, представителей из других государственных органов, частного сектора и гражданского общества [8]. Участники программы изучают актуальную для стран Европы узкую проблему в сфере устойчивого развития, по одной из тематик «окружающая среда» – «экономика» – «комплексное развитие городов» – «управление» – «общество». В каждой тематике может создаваться от трех до восьми групп участников. Каждая группа может объединять от пяти до двенадцати городов, которые совместно решают проблематику на протяжении двух-трех лет. Финансирование реализации наработанных подходов к решению проблематики устойчивого развития осуществляется за счет фонда URBACT. Задавать проблематику развития городов могут претенденты на участие в проекте путем подачи специальных заявок. Выбор и утверждение проблематик и городов участников проекта производят эксперты URBACT.

Программа URBACT существует уже 15 лет. На сегодня в рамках URBACT участвует 21 группа, в которых задействованы 154 города из всех стран Европейского союза. Завершение проектов планируется в 2018 году. Очередной сбор предложений для новых проектов планируется запустить в сентябре 2017 года.

URBAN AUDIT – инструментом мониторинга и получения объективной информации о качестве жизни в европейских городах призвана стать система «Городской аудит», который реализуется совместными усилиями городов-участников и национальных статистических служб, Евростатом и Генеральной Дирекцией по региональной политике Европейской Комиссии [9].

Система «Городской аудит» является ответом на растущую потребность в информации о городах. Основная цель системы заключается в предоставлении объективных и пригодных для сравнения статистических данных о европейских городах, включая сведения о демографии, структуре домохозяйств, жилье, здравоохранении, занятости, экономической активности, доходах, социальных учреждениях, обра-

зовании, охране окружающей среды, культуре и туризме. В системе «Городской аудит» Евростат координирует информационных подрядчиков – национальные статистические бюро, офисы городов и местные органы власти.

Первая попытка собрать данные о качестве жизни в европейских городах была сделана в 1996 году, когда пилотным проектом было охвачено 58 крупных городов с общей численностью населения 42,6 млн человек (в пределах административных границ), а с учетом прилегающих урбанизированных территорий 27 городов – 70 млн человек.

Отсутствие четкой методики выбора городов для городского аудита порождало отдельные сомнения и снижало доверие к международному сравнительному анализу городов, отбор которых мог происходить по субъективным признакам. Чтобы решить эту проблему, в 2011 году Европейская комиссия разработала новую методику отбора городов и их коммутирующих зон для включения в систему «Городской аудит».

В ходе классификации и пространственного отбора определяются следующие составляющие:

- Город;
- Функциональная городская коммуникационная зона;
- «Большой город»;
- Районы города, уровень 1 и уровень 2 [9].

Выбор городов. В основе методики классификации лежит соотношение плотности населения и границ административно-территориальных образований. Порядок проведения классификации осуществляется в следующей последовательности:

- 1) формирование для страны регулярной сетки размером 1×1 км.
- 2) выделение кластеров с плотностью более 1500 жителей на квадратный километр.
- 3) группировка пространственного массива кластеров с высокой плотностью населения и выделение городов с минимальным населением 50 тыс. жителей.
- 4) сравнение площади муниципалитета с площадью пространственного массива кластеров с плотным населением. Дальнейшему анализу подлежат города, в которых хотя бы половина населения проживает в выделенных кластерах [9].

В большинстве случаев, город может состоять из одного муниципалитета, который охватывает урбанизированную территорию.

После применения этой методики в некоторых случаях были проведены незначительные корректировки. В связи с тем, что границу муниципалитета (или государственную границу) мог пересекать кластер, необходимо было определить, к какому из муниципалитетов приписать население территории, чтобы дальнейшие действия были объективными.

Прогнозируется, что степень урбанизации территории и численность населения европейских городов будет меняться медленно, а соответственно проведенная классификация будет актуальна в течение долгого времени. Таким образом, повторное проведение классификации не нужно выполнять очень часто. С учетом этих данных обновлять кластеризацией территории и определять коммутирующие области необходимо не реже одного раза в десять лет. В случае необходимости работы по обновлению степени урбанизации территории можно проводить через каждые пять лет. В случае, если какие-либо границы муниципалитетов изменились, в данном случае, необходимо мгновенное обновление уровня урбанизации территории. В случае необходимости степень урбанизации территории может быть определена для сети более высокого разрешения (сетка 200×200 или 100×100 м) [9].

Определение функциональной городской коммуникационной зоны. После того, как города определены для целей Городского аудита, для них идентифицируется функциональная городская коммуникационная зона по следующей методике:

- выделяют города-спутники, в которых минимум 15% занятых лиц работают в другом городе, такие города считаются подключенными. В этом случае, первый город является частью функционального городского района второго города и не имеет своего собственного функционального района;
- выделяют прилегающие муниципалитеты, для которых по крайней мере 15% от их трудоспособного населения работают в городе;
- территории муниципалитетов объединяются в один функциональный городской район, не смежные муниципалитеты отбрасываются [9].

Если один муниципалитет отвечает критериям, чтобы быть частью функциональных городских районов двух городов, например, муниципалитет, расположенный между двумя большими городами, в таком случае он должен быть отнесен к функциональному району того города, для которого выше процент работающих жителей.

К числу трудоспособного населения включаются все трудоспособные лица (в том числе работающие по найму, государственные служащие и служащие). Студенты не должны быть включены в число трудоспособного населения.

Определение «большого города». В некоторых случаях городская территория (плотно урбанизированная территория) простирается далеко за пределами города. Для того, чтобы лучше изучать, понимать процессы и связи в середине населенных территорий, необходимо рассматривать их «за пределами города», то есть может быть создан уровень «большого города». Это довольно распространенный подход для некоторых столиц и крупных городов, например, Большой Манчестер, Большой Ноттингем [9].

Определение районов города. Районы города определяются исходя из следующих правил:

- городские районы должны быть определены для всех городов с более чем 250 000 населения;
- определения городских районов для городов с менее чем 250 000 населения не является обязательным;
- городские районы определяются из расчета от 5 000 до 40 000 населения;
- городские районы должны быть внутренне однородными с точкой зрения социальной структуры и окружающей среды, насколько это возможно;
- в больших городах административное деление уже существует. Указанное разделение может быть учтено для городского аудита без изменений при условии соответствия количества населения, проживающего в этих районах. В других случаях осуществляется разделение города на районы с учетом критерия численности населения;
- таким образом, для некоторых городов может быть проведено районирование двух

типов: существующее административное и по количеству населения;

– разделению территории на городские районы могут подвергаться урбанизированные территории, не охваченные самим городом, но отнесенные к территории «большого города» [9].

Таким образом, для выделения городских поселений в системе «Городской аудит» используются две концепции – административная и морфологическая.

На сегодняшний день в рамках проекта осуществлен сбор информации в пяти временных срезах: на 1996 г. – пилотный проект, на 2003 г. (1999–2003 гг.), на 2006 г. (2003–2006 гг.), на 2009 г. (2007–2009 гг.) и на 2012 г. (2010–2012 гг.)

В конце 2013 г. начался новый сбор информации для системы «Городской аудит». Выбор городов для этого проекта сделал Евростат, Европейская комиссия в сотрудничестве с национальными статистическими управлениями в зависимости от степени урбанизации. На сегодня программой охвачено 1315 городов из 28 стран Европейского союза.

URBAN ATLAS (Городской атлас) – обеспечивает общеевропейское сравнение данных о землепользовании и земельной поверхности для крупных городов. Ведется в виде открытых геопространственных данных. Система направлена на содействие работе по планированию территории и учета объектов [10].

Европейский Городской атлас является частью местной составляющей по мониторингу земель, предоставляет средства для мониторинга и интерпретации изменений городских центров и их пригородных зон. Городской атлас, создан в качестве проекта мониторинга земли под проект GMES (Глобальный мониторинг для окружающей среды и безопасности) и представляет собой инструмент цифрового картографирования, обеспечивающий общеевропейские, надежные и сопоставимые данные городского планирования с картами высокого разрешения [10].

Городской атлас объединяет тысячи изображений с европейских спутников и обеспечивает подробное физическое и тематическое картографирование крупных городских зон, что дает точные данные о земной поверхности и ее использовании.

На начальном этапе, который стартовал в 2005 году, в Городской атлас включены 305 европейских городов. Данные собраны по состоянию на 2006 год. Критерием по выбору городов была численность населения, первоначально установленная в 100 тыс. жителей. Данные о численности брались из проекта Городской аудит. Очередной срез пространственной информации собран по состоянию на 2012 год. В проекте уже задействовано 697 городов из всех стран Европейского союза. В программу включены города с численностью в 50 тыс. жителей. Будущие издания Городского атласа планируется обновлять каждые три-пять лет [10].

Наборы данных и карты можно загрузить с веб-сайта Urban Atlas [10]. Кроме того, карты также можно увидеть в виде наборов тематических слоев через специальный веб-сайт просмотра пространственных данных.

Городской атлас предназначен для всех, кто хочет сравнить город в одной стране в Европе с городом в другой стране. Он предоставляет соответствующие данные для анализа в области транспорта, окружающей среды и землепользования. Наличие геопространственной информации в нескольких часовых срезах позволяет производить пространственный анализ территории, делать расчеты и прогнозировать последующее развитие.

Городской атлас является совместной инициативой комиссии Генерального директората Европейской региональной политики и Генеральным директоратом по предпринимательству и промышленности при поддержке Европейского космического агентства и Европейского агентства по окружающей среде. Городской

атлас был выполнен французской компанией SIRS [10].

Выводы

Для обеспечения устойчивого развития населенных пунктов и территорий необходимо постоянно стимулировать местные органы и контролировать уровень выбранных индексов и показателей. В Европе разработано ряд систем и программ по обмену тематическим опытом для решения различных проблем развития городов, информирования об наилучших технологиях управления подсистемами города, о сборе, анализе и сравнении статистической информации и т. п. Необходимо перенимать передовой опыт внедрения технологии устойчивого развития и применять его в других странах, которые выбрали модель своего развития модель устойчивого развития территории. Проанализировав европейские инструменты поддержки и оценки уровня устойчивого развития, можно сделать вывод, что наиболее комплексной, на наш взгляд, является система URBAN AUDIT, а наиболее наглядной URBAN ATLAS.

Существующую сегодня в Украине систему градостроительного мониторинга необходимо усовершенствовать и наделить ее новой задачей – учет показателей устойчивого развития территорий. Эта система наиболее подходит для выполнения такой задачи, поскольку градостроительный мониторинг ведет уже учет определенных показателей в виде пространственных данных. На его основе можно производить сравнение, ранжирование, публичное представление статистических и пространственных данных.

Литература

1. **Hulse, J. H.** Sustainable Development at Risk: Ignoring the Past / J. H. Hulse. – New Delhi: Cambridge University Press India Pvt. Ltd.; Ottawa: International Development Research Centre, 2007. – 390 p.
2. **Kates, R. W.** What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice / R. W. Kates, T. M. Parris, A. A. Leiserowitz. – Environment: Science and Policy for Sustainable Development. – 2001. – № 3. – P. 8–21.
3. **Peter, W. G.** Newman. Sustainable development and urban planning: Principles and applications in an Australian context / Peter W. G. Newman // Sustainable development. – 1993. – Vol. 1, № 1. – P. 25–40.
4. **Александрович, Я. М.** Стратегические цели и направления устойчивого развития Республики Беларусь / Я. М. Александрович // Белорусский экономический журнал. – 2002. – № 4. – С. 4–9.
5. **Устойчивое** развитие экономики и безопасность: монография / А. А. Быков [и др.]; ред. А. А. Быкова и М. И. Ноздрина-Плотницкого. – Минск: Мисанта, 2011. – 177 с.
6. **Ксенович, М. Я.** Просторова організація і сталій розвиток міст-центрів (моделювання, нормування та методика на прикладі Донецька – Макіївки) / Укр. акад. архіт. – К.: НДІП містобудування; Вінниця: Тезис, 2001. – 159 с.
7. **Смілка, В. А.** Територіальне районування для ведення містобудівного моніторингу / В. А. Смілка // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 28. – С. 147–154.
8. **Urbact** Driving change for better cities [Electronic resource] / European union. European Regional Development Fund. – 2017. – Mode of access: <http://urbact.eu>. – Date of access: 08.06.2017.

9. **Methodological** manual on city statistics. 2017 edition / Eurostat. General and regional statistics European Union–Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017 –58 c.
10. **European** Environment Agency [Electronic resource] / The EEA is an agency of European union. – 2014. – Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>. – Date of access: 08.06.2017.

References

1. **Hulse, J. H.** Sustainable Development at Risk: Ignoring the Past / J. H. Hulse. – New Delhi: Cambridge University Press India Pvt. Ltd.; Ottawa: International Development Research Centre, 2007. – 390 p.
2. **Kates, R. W.** What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice / R. W. Kates, T. M. Parris, A. A. Leiserowitz. – Environment: Science and Policy for Sustainable Development. – 2001 – Num. 3. – P. 8–21.
3. **Peter W. G. Newman.** Sustainable development and urban planning: Principles and applications in an Australian context / Peter W. G. Newman // Sustainable development. – 1993. – Vol. 1, № 1. – P. 25–40.
4. **Aleksandrovich, Ja. M.** Strategic goals and directions of sustainable development of the Republic of Belarus / Ja. M. Aleksandrovich // Belorusskij jekonomicheskij zhurnal. – 2002. – № 4. – P. 4–9.
5. **Sustainable** economic development and security: monografiya / A. A. Bykov & others; red. A. A. Bykova i M. I. Nozdri-na-Plotnitskogo. – Minsk: Misanta, 2011. – 177 p.
6. **Ksenevich, M. Ja.** Spatial organization and Sustainable Development centers (modeling, valuation methods and the example of Donetsk – Makiyivka) / Ukr. akad. arhit. – K.: NDIP mistobuduvannja; Vinnicja: Tezis, 2001. – 159 p.
7. **Smilka, V. A.** Territorial zoning for urban driving monitoring / V. A. Smilka // Upravlinnja rozvitkom skladnih sistem. – 2016. – № 28 – P. 147–154.
8. **Urbact** Driving change for better cities [Electronic resource] / European union. European Regional Development Fund. – 2017. – Mode of access: <http://urbact.eu/>. – Date of access: 08.06.2017.
9. **Methodological** manual on city statistics. 2017 edition / Eurostat. General and regional statistics European Union–Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017 –58 p.
10. **European** Environment Agency [Electronic resource] /. The EEA is an agency of European union. – 2014. – Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>. – Date of access: 08.06.2017.

Поступила
15.06.2017

После доработки
28.06.2017

Принята к печати
10.09.2017

L. N. Kovalskyi, V. A. Smilka

REVIEW OF THE EUROPEAN SYSTEMS RESEARCH PROGRAMS OF URBAN TERRITORIES

Kyiv National University of Construction and Architecture

The model of sustainable development of the territory should be in a state of control and management. The system of urban monitoring of Ukraine does not fully provide information on the level of sustainable development of settlements and regions. Therefore, it is necessary to create systems for monitoring indicators of sustainable development of human settlements and regions. The objective of this study is to analyze the existing programs for stimulating sustainable development in European countries and to develop recommendations on the need to organize such systems in Ukraine and to improve the system of urban monitoring. The article describes such systems and programs: URBACT is a program for sharing best practices between cities by creating thematic networks. URBACT's mission is to encourage cities to work together and develop integrated solutions to common urban problems, through networking, to learn from each other's experiences and identify best practices in order to improve urban policies; URBAN AUDIT – a large set of statistical information. The main objective of the system is to provide objective and comparable statistical data on European cities; URBAN ATLAS – provides a pan-European comparison of urban land use data. The information is in the form of open geospatial data. The system is aimed at facilitating work on site planning and site accounting. It is necessary to adopt the best practices of implementing sustainable development technology and apply it in other countries that have chosen a model for their development – a model for sustainable development of the territory. The current system of town-planning monitoring in Ukraine needs to be improved and given a new task – to take into account indicators of sustainable development of the territories. This system is most suitable for this task, since urban monitoring already takes into account certain indicators in the form of spatial data.

Keywords: sustainable development, city, URBACT, URBAN AUDIT, URBAN ATLAS, urban monitoring



Ковальський Леонід Николаевич. Доктор архітектури, професор, завідувач кафедри теорії архітектури архітектурного факультета Київського національного університету будівництва і архітектури. Загальне кількість наукових публікацій 109. Його наукові твори пов'язані з архітектурною і градостроювальною діяльністю, організацією системи будівель громадського обслуговування, проблемами висотної будівництва, нормуванням проектування і будівництва будівель і споруд.

E-mail: leniko@meta.ua

Kovalskyi Leonid Nikolaevich. Doctor of Architecture, Professor, Head of the Department of Architectural Architecture of the Kiev National University of Construction and Architecture. The total number of scientific publications 109. His scientific works are related to architectural and town planning activities, the organization of a system of public service buildings, the problems of high-rise construction, the normalization of design and construction of buildings and structures.



Смилка Владислав Анатольевич. Кандидат технических наук, доцент кафедры теории архитектуры архитектурного факультета Киевского национального университета строительства и архитектуры. Загальне кількість наукових публікацій 28. Його наукові твори пов'язані з інформатизацією градостроювальної діяльності, систематизацією задач, функцій, методів ведення градостроювального кадастра і моніторингу.

Smilka Vladislav Anatolyevich. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architectural Architecture of the Kiev National University of Construction and Architecture. Total number of scientific publications 28. His scientific works are connected with informatization of town-planning activity, systematization of tasks, functions, methods of urban planning cadastre and monitoring.

E-mail: vsmilka@i.ua

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

УДК 656.13.08

А. Н. КЛИМОВИЧ, В. Н. ШУТЬ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗВИТИИ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

Брестский государственный технический университет

Алгоритмы адаптивного управления, применяющиеся на сегодняшний день, существуют уже несколько десятилетий. За это время интенсивное развитие получили информационные технологии и сегодня все более актуальным является их применение в сфере транспорта. В статье анализируются современные тенденции развития адаптивных методов управления транспортными потоками. Выполнен обзор наиболее перспективных направлений в сфере интеллектуальных транспортных систем, таких как высокоскоростное беспроводное взаимодействие автомобилей друг с другом и с дорожной инфраструктурой, основанное на использовании технологий DSRC и WAVE, прогнозирование заторов по признакам, включающим информацию о дорожном потоке, степени занятости дороги, скоростях транспортных средств, с помощью методов машинного обучения, правил нечеткой логики и генетических алгоритмов, внедрение систем содействия водителю для повышения автономности транспортных средств. Приведены преимущества, предоставляемые этими технологиями, для повышения безопасности, эффективности и удобства использования транспорта. Описан мультиагентный подход, использующий V2I-взаимодействие между автомобилями и контроллером перекрестка для повышения эффективности управления за счет более полной информации о транспортном потоке и возможности отдавать команды отдельным автомобилям через сообщения. Представлен ряд алгоритмов, использующих этот подход для создания нового поколения адаптивных транспортных систем.

Ключевые слова: *Адаптивное управление движением, интеллектуальные транспортные системы, предсказание заторов, V2I-взаимодействие, мультиагентные системы, автономные автомобили.*

Введение

Наблюдаемое в течение суток изменение интенсивности транспортных потоков требует соответствующего изменения параметров управления дорожным движением, таких как длительность цикла и время разрешающих сигналов. Адаптивное управление, за счет наличия обратной связи с транспортным потоком, позволяет учитывать, как суточные изменения интенсивности, так и ее колебания в связи со случайным прибытием транспортных средств. Системы, основанные на адаптивном управлении, существуют на протяжении последних десятков лет, и их применение как в мегаполисах, так и в менее крупных городах, доказало свою эффективность. Однако современное развитие информационных технологий и интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет создавать качественно новые методы управления транспортными потоками, направленные на повышение удобства, эффективности и безопасности использования транспорта.

Интеллектуальные транспортные системы

На сегодняшний день существуют десятки различных реализаций адаптивных систем управления транспортом [1], а наиболее распространенными являются SCOOT и SCATS [2]. Современные достижения в области ИТС позволяют значительно расширить текущие возможности адаптивного управления транспортом и создать более совершенные системы за счет использования продвинутых сенсоров, электроники, компьютерных и коммуникационных технологий, инновационных стратегий управления.

Одним из важных направлений развития ИТС является использование беспроводных телекоммуникаций. Исследования, проводившиеся в этой области в 2000-х годах показали, что существующие технологии Wi-Fi не соответствуют поставленным задачам. Для решения этих проблем было создано новое дополнение к стандарту Wi-Fi – IEEE 802.11p [3]. Новый протокол базируется на технологии

DSRC (Dedicated short range communication), служащей для взаимодействия на коротких дистанциях. Технология следующего поколения называется WAVE (Wireless Access to Vehicular Environment) и предоставляет высокоскоростную передачу данных [4]. Беспроводные сети наиболее короткого радиуса используются для организации обмена данными между устройствами внутри автомобиля, например, для связи между смартфоном водителя и системами автомобиля. Взаимодействие V2V включает обмен данными с автомобилями, проходящими рядом или движущимися по одному маршруту, а также аварийное вещание автомобилям, находящимся неподалеку. Взаимодействие V2I использует придорожную инфраструктуру для обмена данными и сетевого взаимодействия с автомобилями. Также автомобиль может иметь прямое подключение к интернету через сотовую сеть. Сервисы, разработанные на данный момент, включают системы кооперативного оповещения о столкновениях, системы детектирования столкновений, кооперативные системы безопасности перекрестков, оповещение о приближении автомобилей экстренных служб или областей с дорожными работами и др. [5].

Другое направление в ИТС – это предсказание заторов. Последние несколько десятилетий наиболее широко распространенные техники дорожного прогнозирования основывались на фильтре Калмана и интегрированной модели авторегрессии скользящего среднего (ARIMA) [6]. В настоящее время большое внимание уделяется методам, способным выполнять прогнозирование на основе нескольких признаков, включающих дорожный поток, степень занятости дороги, скорости. К таким алгоритмам относятся метод опорных векторов (SVM) [7], нейронные сети (NN) [8], системы, основанных на правилах нечеткой логики (FRBS) [9, 10], генетические алгоритмы (GA) [11]. Наиболее эффективные методы на сегодняшний день могут предсказать возникновение затора на период от 5 до 30 минут с точностью в 95%.

Последнее десятилетие характеризуется активным развитием в области автономных и беспилотных автомобилей. Этому свидетельствуют следующие проекты: VIAC (2007-10), SPITS (2008-11), HAVEit (2008-11) [12], Cyber-

cars-2 and CityMobil (2005-08 и 2008-11) [13], соревнование GDC (2009-11), e-Safety (2002-13), соревнования DARPA [14] и Google Driverless Car. Работа над продвинутыми системами содействия водителю (ПССВ) ведется в таких направлениях как системы ассистирования при смене полосы, системы безопасности пешеходов, системы предупреждения и предотвращения столкновений, системы адаптивного управления светом фар, системы ассистирования при парковке, системы ночного видения, системы круиз-контроля, системы внутреннего наблюдения, позволяющие детектировать сонное состояние водителя и предупредить об опасной ситуации [15]. Следующий шаг – создание кооперативных систем адаптивного круиз-контроля, основывающихся на V2V взаимодействии, систем распознавания дорожных знаков и сигналов светофора, систем, использующих информацию от цифровых карт, например, для выбора подходящей скорости перед крутым поворотом. Развитие ПССВ будет влиять на требования к безопасности автомобилей и со временем использование таких систем станет обязательным, делая машины более автономными.

Мультиагентные системы в транспорте

Мультиагентные системы (МАС) – это системы, состоящие из автономных интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом, и пассивной среды, в которой агенты существуют и на которую также могут влиять. Применение МАС для управления перекрестком стало возможным благодаря развитию V2I и V2V коммуникаций. Перекресток снабжается устройством-контроллером, реализующим алгоритм управления фазами светофора (рис. 1). В случае с автономными автомобилями светофор может просто выполнять дублирующую функцию, т. к. основные команды могут передавать через V2I взаимодействие. Контроллер имеет определенный радиус действия, появляясь в котором автомобиль передает информацию о своем положении, скорости и направлении движения. Контроллер собирает эту информацию со всех автомобилей и на основе полученных данных выполняет планирование фаз. При необходимости автомобилям отправляются команды, позволяющие им скорректировать свои действия.

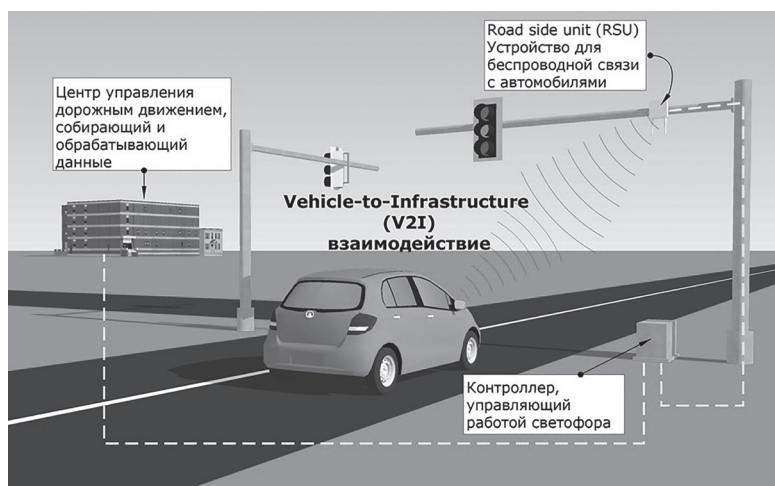


Рис. 1. Применение V2I взаимодействия для управления перекрестком

Предлагаемые алгоритмы работы контроллера могут значительно отличаться от системы к системе. Некоторые ориентированы на совершенствование планирования фаз светофора за счет наличия более полной информации о транспортных потоках [16,17], другие занимаются контролем траекторий автомобилей для более эффективного и безопасного проезда перекрестка [18,19], третьи предлагают отказаться от светофорного регулирования и активно использовать возможности беспроводного взаимодействия через передачу сообщений [20]. Качество предлагаемых алгоритмов оценивается через имитационное моделирование, которое показывает значительное повышение эффективности перекрестка по сравнению с классическим светофорным регулированием. Кроме задач управления изолированным перекрестком, MAC могут быть применены в системах для централизованного управления движением во всем городе, которые занимаются формированием маршрутов, планированием времени поездок и координацией отдельных све-

тофорных объектов с целью избежания возникновения заторов [21].

Заключение

Большинство существующих методов адаптивного управления транспортом основываются на технологиях, доступных уже несколько десятилетий. В статье представлен ряд технологий, таких как устройства, обеспечивающие беспроводные высокоскоростные телекоммуникации с автомобилями, и продвинутые системы содействия водителю, появление и распространение которых приведет к созданию нового поколения адаптивных систем управления транспортом. Такие системы будут способны собирать детальное описание транспортных потоков, включая информацию о маршруте, скорости и положении отдельных автомобилей, и иметь возможность передавать этим автомобилям индивидуальные команды, что позволит транспортным системам городов справляться с постоянным ростом числа автомобилей и объемов перевозок, наблюдающимся по всему миру.

Литература

1. Aavani, P. A review on adaptive traffic controls systems / P. Aavani, K. S. Mithun, S. Sneha // International Journal of Latest Engineering and Management Research. – 2017. – Vol. 2, № 1. – P. 52–57.
2. Stevanovic, A. Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice / A. Stevanovic // A Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 403. – 2010. – 114 p.
3. Hiertz, G. R. The IEEE 802.11 Universe / G. R. Hiertz [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 1. – P. 62–70.
4. Dar, K. Wireless communication technologies for ITS applications / K. Dar [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 5. – P. 156–162.
5. Martinez, F. J. Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks / F. J. Martinez [et al.] // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2010. – Vol. 2, № 2. – P. 6–20.
6. Williams, B. M. Modeling and forecasting vehicular traffic flow as a seasonal ARIMA process: Theoretical basis and empirical results / B. M. Williams, L. A. Hoel // Journal of Transportation Engineering. – 2003. – Vol. 129, № 6. – P. 664–672.

7. **Wu, C.-H.** Travel-time prediction with support vector regression / C.-H. Wu, J.-M. Ho, D. Lee // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2004. – Vol. 5, № 4. – P. 276–281.
8. **Chan, K.** Neural-network-based models for short-term traffic flow forecasting using a hybrid exponential smoothing and Levenberg–Marquardt algorithm / K. Chan, T. Dillon, J. Singh // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2012. – Vol. 13, № 2. – P. 644–654.
9. **Dimitriou, L.** Adaptive hybrid fuzzy rule-based system approach for modeling and predicting urban traffic flow / L. Dimitriou, T. Tsekeris, A. Stathopoulos // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2008. – Vol. 16, № 5. – P. 554–573.
10. **Zhang, Y.** Short-term traffic flow forecasting using fuzzy logic system methods / Y. Zhang, Z. Ye // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2008. – Vol. 12, № 3. – P. 102–112.
11. **Vlahogianni, E. I.** Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach / E. I. Vlahogianni, M. G. Karlaftis, J. C. Golias // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2005. – Vol. 13, № 3. – P. 211–234.
12. **Flemisch, F.** Towards Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEit-Joint System / F. Flemisch [et al.] // 3rd European Road Transport Research Arena – 2010. – P. 1–12.
13. **Toffetti, A.** CityMobil: Human Factors issues regarding highly-automated vehicles on an eLane / A. Toffetti [et al.] // Paper presented at the Transportation Research Board, New York. – 2009. – Vol. 2110. – P. 1–8.
14. **Buehler, M.** The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic / M. Buehler, K. Iagnemma, S. Singh // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2010. – Vol. 56. – P. 441–508.
15. **Wees, K.** (2005) Product liability for ADAS; legal and human factors perspectives / K. Wees, K. Brookhuis // European Journal of Transport and Infrastructure Research. – 2005. – Vol. 5, № 4. – P. 357–372.
16. **Fei, Y.** New vehicle sequencing algorithms with vehicular infrastructure integration for an isolated intersection / Y. Fei, M. Dridi, A. El-Moudni // Telecommunication Systems. – 2012. – Vol 50, № 4. – P. 325–337.
17. **Войцехович, О. Ю.** Стратегия оптимизации движения автомобилей по магистрали города с использованием бинарного дерева решений / О. Ю. Войцехович, В. Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011): материалы международной научной конференции. – Минск: БГУИР, 2011. – С. 187–188.
18. **Li, Z.** Signal control optimization for automated vehicles at isolated signalized intersections / Z. Li, L. Elefteriadou, S. Ranka // Transportation Research Part C Emerging Technologies. – 2014. – Vol. 49. – P. 1–18.
19. **Wuthishuwong, C.** Vehicle to infrastructure based safe trajectory planning for Autonomous Intersection Management / C. Wuthishuwong, A. Traechtler // In Proceedings of IEEE International Conference on ITS Telecommunications. – 2013. – P. 175–180.
20. **Dresner, K.** A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management / K. Dresner, P. Stone // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2008. – Vol. 31. – P. 591–656.
21. **Климович, А. Н.** Современные подходы и алгоритмы управления транспортными потоками / А. Н. Климович, А. С. Рыщук, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2015. – № 3. – С. 252–256.

Поступила
30.05.2017

После доработки
12.07.2017

Принята к печати
10.09.2017

Klimovich A. N. Shuts V. N.

SYSTEM ANALYSIS OF MAJOR TRENDS IN DEVELOPMENT OF ADAPTIVE TRAFFIC FLOW MANAGEMENT METHODS

Adaptive algorithms, which current traffic systems are based on, exist for many decades. Information technologies have developed significantly over this period and it makes more relevant their application in the field of transport. This paper analyses modern trends in the development of adaptive traffic flow control methods. Reviewed the most perspective directions in the field of intelligent transport systems, such as high-speed wireless communication between vehicles and road infrastructure based on such technologies as DSRC and WAVE, traffic jams prediction having such features as traffic flow information, congestion, velocity of vehicles using machine learning, fuzzy logic rules and genetic algorithms, application of driver assistance systems to increase vehicle's autonomy. Advantages of such technologies in safety, efficiency and usability of transport are shown. Described multi-agent approach, which uses V2I-communication between vehicles and intersection controller to improve efficiency of control due to more complete traffic flow information and possibility to give orders to separate vehicles. Presented number of algorithms which use such approach to create new generation of adaptive transport systems.

Keywords: Adaptive traffic control, intelligent transport systems, traffic jam prediction, V2I-communication, multi-agent systems, autonomous vehicles.



Klimovich Andrei graduated with honors from Brest State Technical University with a speciality in «Artificial intelligence» (2014), received master degree with the same speciality (2017). Scientific interests: intelligent transport systems, artificial intelligence, machine learning.

Климович Андрей Николаевич закончил с отличием Брестский государственный технический университет по специальности «Искусственный интеллект» (2014), получил степень магистратура по той же специальности (2017). Научные интересы: интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект, машинное обучение. E-mail: andrey_klim@bk.ru



Shuts Vasilii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Intellectual Information Technologies of the Brest State Technical University. Author of more than two hundred works, two monographs, 25 patents for invention. Scientific interests: intelligent transport systems, unmanned transport (40 publications), adaptive control systems for transport flows (30 publications and one patent), graph theory (20 publications), optimization problems of discrete mathematics (30 publications).

Шуть Василий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета. Автор более двухсот работ, двух монографий, 25 патентов на изобретения. Научные интересы: интеллектуальные транспортные системы, беспилотный транспорт (30 публикаций и один патент), теория графов (20 публикаций), оптимизационные задачи дискретной математики (30 публикаций). E-mail: lucking@mail.ru

УДК 631.172:636

Л. С. ГЕРАСИМОВИЧ, А. Н. КОСЬКО, А. В. СИНЕНЬКИЙ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОЙ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ПРИМЕРЕ ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПОРΟΣЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ

*Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси*

В данной статье предлагается модель биотехнической системы и алгоритм управления облучением по поведению поросят-отъемышей с использованием технологий машинного зрения. Эффективная температура внутреннего воздуха является косвенным показателем благоприятности условий содержания животных. В данной статье выдвинута гипотеза: управление микроклиматом в животноводческом помещении должно основываться на прямых показателях благоприятности содержания. Данным показателем целесообразно считать поведение животных. Разработаны структурно функциональные схемы функционирования биотехнической системы животноводческого комплекса в нотации IDEF0. Представлен алгоритм управления облучением поросят-отъемышей по этологическому признаку расположения животных по площади пола. Задача применения технического зрения в системе управления микроклиматом ранее не решалась. Алгоритмы автоматического управления электротехнологическими процессами в сельском хозяйстве в литературе ранее не встречались. Разработанный принцип интеллектуального управления позволяет оптимально обеспечивать комфортные условия содержания животных в режиме реального времени. Результаты исследования могут быть использованы при создании и проектировании современных систем автоматического управления микроклиматом.

Ключевые слова: биотехническая система, математическая модель, этология, инфракрасное облучение, поросята-отъемыши

Введение

Биотехническая система (БТС) – выделенные в единую систему, биологические и технические подсистемы, связанные между собой для выполнения заданной целевой функции [1].

Управляемой БТС животноводческого комплекса (БТС-У) является БТС, включающая целостные организмы, в которую для согласования работы биологической и технической подсистемы введена подсистема управления.

Для описания процесса функционирования БТС-У воспользуемся технологиями IDEF моделирования. Составим контекстную IDEF0 диаграмму функционирования БТС-У.

Контекстная диаграмма функционирования БТС представлена на рис. 1.

Дочерняя декомпозированная IDEF0 диаграмма функционирования БТС-У представлена на рис. 2.

Целевой функцией БТС-У целесообразно считать энергоэффективность производства продукции [2].

Энергоэффективность управляемой БТС можно оценить по поведению биологической подсистемы из следующих соображений:

- поведение сельскохозяйственных животных является механизмом реализации генетически детерминированных физиологических свойств и потенциальных продуктивных возможностей организма в конкретных условиях среды [3];

- поведение сельскохозяйственных животных может являться показателем комфортности содержания животных, в том числе показателем состояния теплового комфорта [4];

- тепловой комфорт животных влияет на энергоэффективность функционирования управляемой БТС, причем оптимальный тепловой

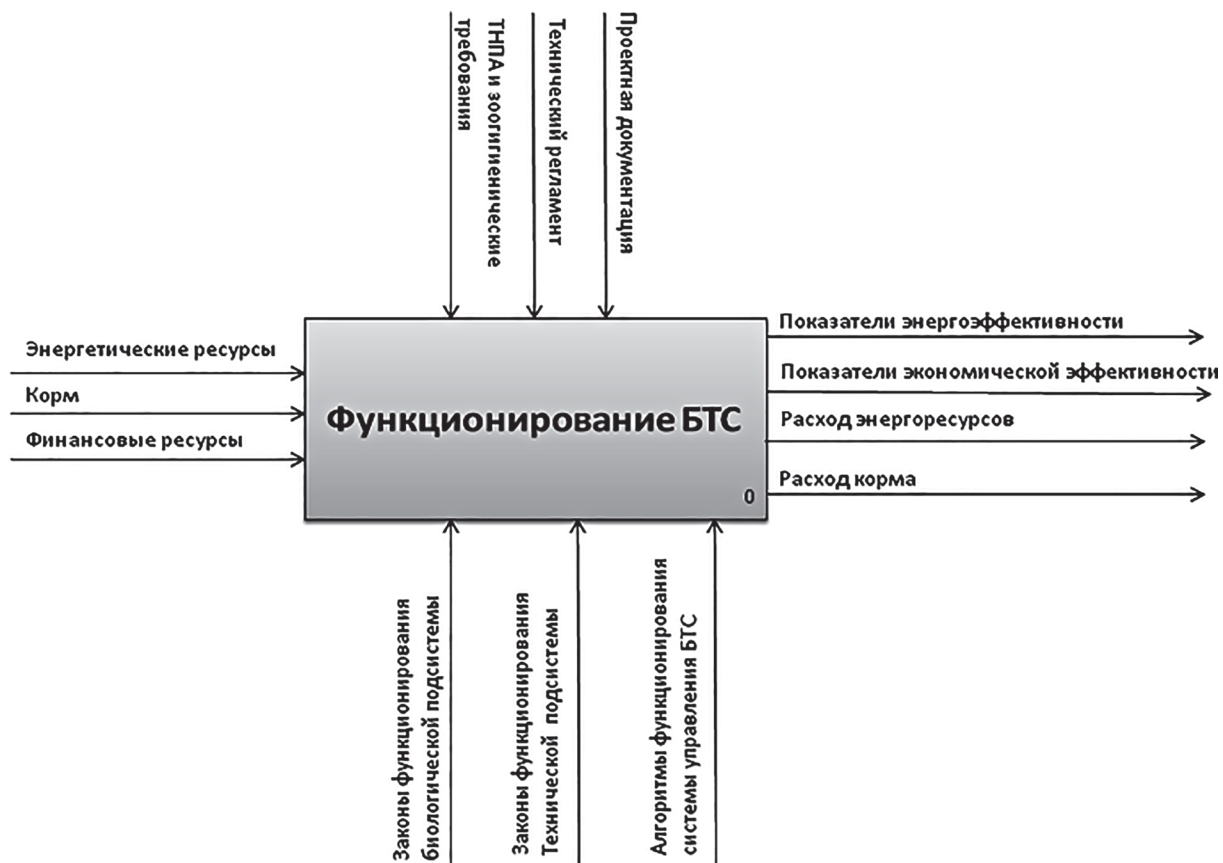


Рис. 1. Контекстная IDEF0 диаграмма функционирования БТС-У

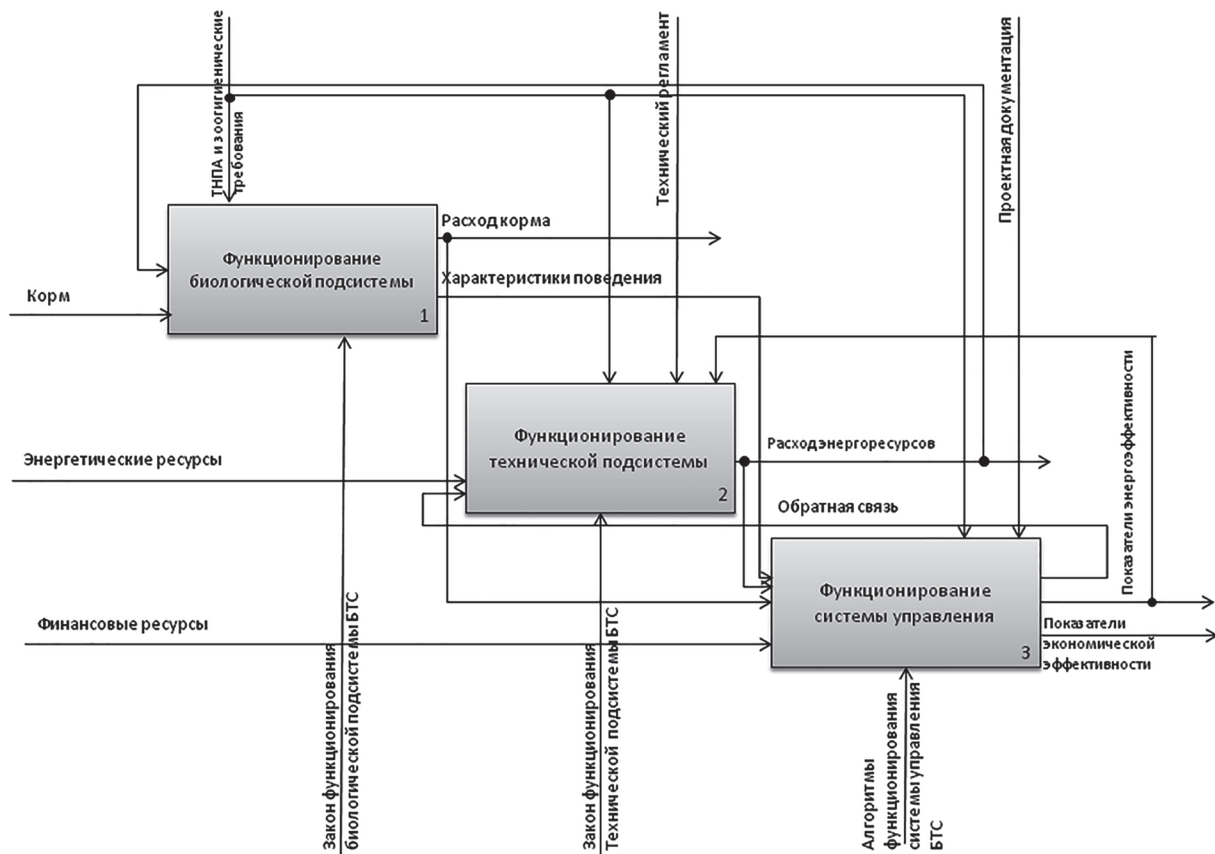


Рис. 2. Декомпозированная (дочерняя) IDEF диаграмма функционирования БТС-У

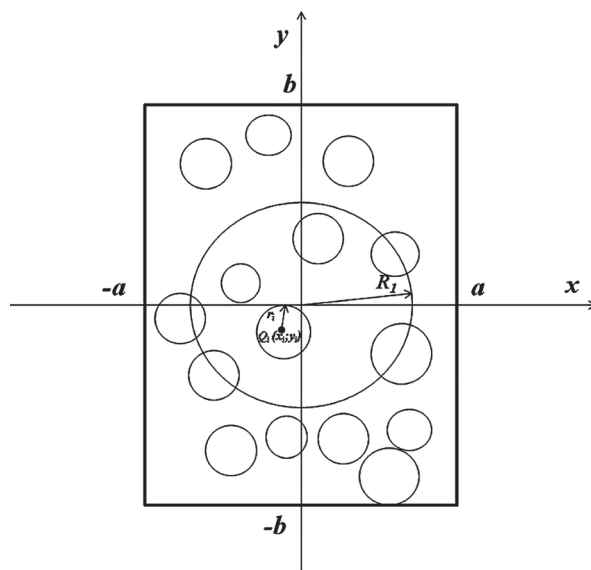


Рис. 3. Схема расположения животных в станке

комфорт является необходимым условием оптимальной энергоэффективности функционирования управляемой БТС [5];

– как следствие поведение может быть рассмотрено как фактор, адекватно характеризующий состояние биологической подсистемы и определяющий функционирование технической подсистемы управляемой БТС.

Согласно существующим классификациям, комфортное поведение сельскохозяйственных животных проявляется в пищевой, адаптивной и двигательной формах поведения [6]. Перечисленные формы поведения проявляются преимущественно в виде двигательной активности.

Двигательная активность является визуально распознаваемым и информативным признаком поведения животных и, следовательно, может быть зафиксирована и классифицирована с точки зрения комфортности условий окружающей среды в автоматическом режиме с использованием средств машинного зрения в виде этограммы.

Существующие технические и программные средства машинного зрения могут быть использованы для создания системы автоматического управления облучением животных по поведению [7–8].

Задача применения технического зрения в системе управления микроклиматом ранее не решалась. Соответствующие алгоритмы управления и программные средства отсутствуют. Отсутствует также теоретическая база управления по поведению. Применение технологий

машинного зрения позволит решить ряд технологических и зоотехнических задач [9]:

- наблюдение условий содержания животных и работы технологического оборудования в реальном времени;
- формирование данных об отклонении поведения животного от нормы и подача сигнала тревоги в реальном времени при отклонении от нормального поведения;
- определение общего состояния стада животных;
- обнаружение больного животного путём селективного осмотра и наблюдения поведенческих реакций и т. д.

Таким образом, существует необходимость разработать методику и алгоритмы энергоэффективного управления БТС по отклику поведения животных.

Основная часть

В данной статье БТС-У моделируется с точки зрения поведения ее биологической подсистемы. Выбранным для моделирования аспектом поведения животных является расположение поросят-отъемышей в станке относительно источника инфракрасного облучения, схематическое изображение которого приведено на рис. 3.

Площади проекций поросят на площадь пола изображены в виде окружностей с радиусами r_i . Минимальное и максимальное значение данного радиуса определяются положением животного в данный момент.

Начало координатной плоскости помещено в центр станка. Геометрические параметры станка имеют вид

$$x \in [-a; a], y \in [-b; b]. \quad (1)$$

Радиус R_1 задает активную зону облучения, то есть зону. Данная зона определяется геометрическими параметрами облучателя и высотой его подвеса. На схеме представлена активная зона облучения от облучателя сферической конструкции. В первом приближении считаем, что активная зона облучения задается одним данным радиусом. В общем случае число данных радиусов определяется из требований точности управления. Число порослят в станке $i = 15$.

Точка $Q_i(x_i, y_i)$, $i = 1 - 15$, есть центр окружности r_i . x_i, y_i – координаты центра. Приведенные параметры задают кривую L_i , уравнение которой имеет вид

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2. \quad (2)$$

Согласно [4, 10], равномерное распределение животных по площади пола является критерием благоприятности условий содержания. Если животные лезут друг на друга – это признак неблагоприятных условий содержания. Следовательно, в случае, если условия содержания благоприятны, x_i, y_i должны подчиняться следующим ограничениям

$$\begin{aligned} |x_i - x_k| &> r_i + r_k, i \neq k, \\ |y_i - y_k| &> r_i + r_k, i \neq k, \\ x_i &\in [-a + r_i; a - r_i], \\ y_i &\in [-b + r_i; b - r_i]. \end{aligned} \quad (3)$$

Согласно приведенной схеме площадь станка разбита на две зоны кривой $K_1 = \{x^2 + y^2 = R_1^2\}$:

$Z_1 = \{x^2 + y^2 > R_1^2\}$ – площадь вне окружности,

$Z_2 = \{x^2 + y^2 < R_1^2\}$ – площадь внутри окружности.

Следовательно, возможно три случая:

L_i не пересекает K_1 и $Q_i \in Z_1$. Данное обстоятельство говорит о том, что вся площадь с центром Q_i принадлежит $S_{\text{нар}}$, где $S_{\text{нар}}$ – суммарная площадь тел проекций животных вне активной зоны облучения.

L_i пересекает K_1 и $Q_i \in Z_2$. Данное обстоятельство говорит о том, что вся площадь с центром Q_i принадлежит $S_{\text{вн}}$, где $S_{\text{вн}}$ – суммарная площадь тел проекций животных в активной зоне облучения.

L_i пересекает K_1 . Данное обстоятельство говорит о том, что часть площади с центром Q_i принадлежит $S_{\text{нар}}$, а часть $S_{\text{вн}}$. Рассмотрим данный случай подробнее.

Какая часть площади окружности принадлежит $S_{\text{нар}}$, а какая $S_{\text{вн}}$, определяется путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R_1^2, \\ (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2. \end{cases} \quad (4)$$

Если система (4) имеет два действительных решения, то кривая L_i пересекает K_1 . Иначе, пересечения нет, и площадь S_i полностью принадлежит либо Z_1 , либо Z_2 .

Благоприятность условий содержания животных определяется из соотношений между величинами $S_{\text{нар}}$ и $S_{\text{вн}}$, то есть суммарной площадью проекций тел животных в активной зоне $S_{\text{вн}}$ облучения и вне её $S_{\text{нар}}$.

$$S_{\text{вн}} - S_{\text{нар}} = kS_{\Sigma}, \quad (5)$$

где $S_{\Sigma} = S_{\text{нар}} + S_{\text{вн}}$.

Коэффициент k может находиться в трех диапазонах:

$$k < k_{\min}^{\text{opt}},$$

$$k_{\max}^{\text{opt}} > k > k_{\min}^{\text{opt}},$$

$$k > k_{\max}^{\text{opt}}.$$

В первом и третьем случае условия содержания неблагоприятны: в первом случае интенсивность облучения необходимо повысить, в третьем – понизить. Во втором случае, если коэффициент находится в допустимом диапазоне, условия содержания благоприятны.

Сопоставим разработанную модель с параметрами комфорта, определяемыми по поведению животных, с классической тепловой моделью благоприятности условий содержания животных.

Комфорт животного в классической тепловой трактовке определяется через соотношение потерь тепла животным через кондукцию, радиацию, конвекцию и эвапорацию [10–13]. Соотношения данных видов потерь для различных комбинаций температур и относительной влажности воздуха известны. Так для относительной влажности $\approx 50\%$ и температуры воздуха $21,1^\circ\text{C}$ в процентном отношении данные потери составляют соответственно 11, 27, 34, 28.

Поскольку в предложенной модели комфорт животных определяется с использованием коэффициента k в трех диапазонах, можно предположить, что k , находящееся в диапазоне комфортности $k_{\max}^{opt} > k > k_{\min}^{opt}$ есть не что иное, как функция четырех названных видов теплопотерь в процентном отношении.

Стоит заметить, что в классическом случае комфортные условия определяются для отдельного животного, в предлагаемом – для группы. Следовательно, при экспериментальном исследовании должна быть учтена поправка в связи с изменением доли радиации в потерях в связи с тем, что лучистый теплообмен также происходит и между животными.

Таким образом, разработана математическая модель БТС-У.

Результаты данного исследования поддерживаются государственными программами Республики Беларусь. Подана заявка на получение патента на изобретение. Результаты исследований внедрены в учебный процесс.

Экспериментальная проверка предполагается на базе НПЦ НАН Беларуси по животноводству, где уже существует система инфра-

красного облучения поросят-отъемышей, оснащенная системой видеонаблюдения.

Заключение

Разработанный принцип интеллектуального управления позволяет оптимально обеспечивать комфортные условия содержания животных в режиме реального времени в связи с тем, что поведенческая функция животного включается обратной связью непосредственно в систему управления. Данный принцип управления основан на анализе прямых, а не косвенных (температура) параметров благоприятности содержания животных.

Данная система позволит более объективно и качественно оценивать благоприятность условий содержания животных и повысить энергоэффективность процесса управления микроклиматом, а также повысить качество работы зоотехнической службы.

Предлагаемый алгоритм управления может быть использован при создании и проектировании современных систем автоматического управления микроклиматом.

Литература

1. **Биотехнические системы.** Теория и проектирование: Учебное пособие / Под ред. В. М. Ахутина. Л.: ЛГУ, 1981. – 220 с.
2. **Башилов А. М.** Система видеонаблюдения поведения животных при стойловом содержании / А. М. Башилов, В. Н. Легеза, В. А. Королёв // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем. – Москва, 2012, Ч. 2. – С. 467–475.
3. **Porzig E.** Das Verhalten landwirtschaftlichen Nutztiere. VEB. Deutscher Landwirtschaft Verlag. – Berlin, 1969. – S. 430.
4. **Растимешин, С. А.** Локальный обогрев молодняка животных (теория и технические средства) / С. А. Растимешин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 140с.
5. **Герасимович, Л. С.** Модель интеллектуального управления биотехнической системой ИК-облучения молодняка животных / Л. С. Герасимович, И. П. Шейко, А. Н. Косыко // Зоотехническая наука Беларуси: Сб. науч. трудов / редкол.: И. П. Шейко (пред.) [и др.]. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», 2016.
6. **Великжанин В. И.** Классификация систем поведения с.-х. животных // Поведение животных в условиях промышленных комплексов. – Колос. -1979. – С. 14–34.
7. **Башилов, А. М.** Проект управления аграрным производством на основе систем видеомониторинга / А. М. Башилов // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 10. – С. 46–48.
8. **Кириенко Ю. И., Башилов А. М.** Выбор и обоснование технологических схем поточных линий и параметров блока дефектации клубней картофеля. // Труды 8-ой Межд. научн.-техн. конф. «Энергооб. и энергосб. в с.-х.»; Вестник ВИЭСХ, 2012. № 3(8).
9. **Башилов, А. М.** Управление аграрным производством на основе электронно-оптических технологий наблюдения, навигации и роботизации / А. М. Башилов // Энергооб. и энергосб. в с.-х.: труды 7-й Межд. науч.-техн. Конф.: в 5-ти частях. – Ч. 5. Нанотехнологии и инфо-коммуникационные технологии. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – С. 107–114.
10. **Этология сельскохозяйственных животных** // Гауптман Я., Чумлиевски Б., Душек. Я. и др.; Изд-во: М.: Колос, 1977 г.
11. **Tembrock G.** Allgemeine Grundlogen des verholten bei Haustieren. Un: Das Verhalten landwirtschaftlichen Nutztiere. Red. Porzig E. VEB. Deutscher Landwirtschaft Verlag. Berlin, 1969.
12. **Effect of microclimate on particulate matter, airborne bacteria, and odorous compounds in swine nursery houses** / H. Q. Yao, H. L. Choi 2, J. H. Lee, A. Suresh and K. Zhu, 2009.
13. **Esmay, M. L., and J. E. Dixon.** 1986. Environmental Control for Agricultural Buildings. AVI Publishing Company Inc., Westport, CT.

References

1. **Biotechnical** systems. Theory and Design: A Tutorial / V. M. Ahutin, 1981.
2. **System** of video surveillance of behavior of animals with stall contents / A. M. Bashilov, V. N. Legeza, V. A. Korolev, 2012.
3. **The** behavior of farm animals / Porzig E., Berlin, 1969.
4. **Local** heating of young animals (theory and technology) / Rastimeshin, S. A., 1991.
5. **Model** of intelligent control of biotechnical system of infrared irradiation of young animals / L. S. Gerasimovich, I. P. Shejko, A. N. Kos'ko, 2016.
6. **Classification** of agricultural behavior systems. animals // Behavior of animals in industrial complexes / Velikzhanin V. I., 1979.
7. **Project** of management of agrarian production on the basis of video monitoring systems / Bashilov, A. M., 2010.
8. **Selection** and justification of technological schemes of production lines and parameters of the potato tuber defect block / Kirienko Yu. I., Bashilov A. M., 2012.
9. **Control** of agrarian production on the basis of electron-optical technologies of observation, navigation and robotization / A. M. Bashilov, 2010.
10. **Ethology** of farm animals / Hauptman J., Chumlivski B., Dushek. I., 1977.
11. **General** principles of the pet. The behavior of farm animals / Tembrock G., 1969.
12. **Effect** of microclimate on particulate matter, airborne bacteria, and odorous compounds in swine nursery houses / H. Q. Yao, H. L. Choi 2, J. H. Lee, A. Suresh and K. Zhu, 2009.
13. **Esmay, M. L., and J. E. Dixon.** 1986. Environmental Control for Agricultural Buildings. AVI Publishing Company Inc., Westport, CT.

Поступила
27.06.2017

После доработки
07.09.2017

Принята к печати
10.09.2017

Gerasimovich L. S., Kosko A. N., Sinenkii A. V.

MATHEMATICAL MODEL OF THE BIOTECHNIC SYSTEM CONTROLLED BY THE SYSTEM OF ANIMAL SYSTEM ON THE EXAMPLE OF INFRARED IRRADIATION OF PIG-REMOVAL

This article proposes a model biotechnical system and exposure control algorithm on the behavior of piglets using machine vision technology. The effective temperature of the indoor air is an indirect indicator of the favourable conditions for keeping animals. In this article, a hypothesis has been put forward: the management of the microclimate in the cattle-breeding premises should be based on direct indicators of the favourableness of the content. This indicator is appropriate to consider the behaviour of animals. Structurally functional schemes for the functioning of the biotechnical system of the cattle-breeding complex have been developed in the IDEF0 notation. An algorithm for controlling the irradiation of piglets and weaners based on the ethological character of the location of animals across the floor area is presented. This problem was not solved before. Algorithms for automatic control of electro technological processes in agriculture have not been encountered in the literature before. The developed principle of intelligent control allows optimal provision of comfortable conditions for keeping animals in real time. The results can be used to create and design of modern automatic climate control systems in livestock.

Keywords: biotechnical system, mathematical model, ethology, infrared radiation, piglets



Leonid S. Gerasimovich received the Ph. D. degree from the Department of Electrical Engineering of Belarusian State Agrarian Technical University in 1971. His research interests include electrotechnology in agriculture, renewable energy.
E-mail: leonger@tut.by



Andrei N. Kosko graduated from Electrical Engineering of Belarusian State Agrarian Technical University in 2014. In 2015, he entered the postgraduate course of the Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus. His research interests include electrotechnology in agriculture.

E-mail: kasko.andrej@gmail.com



Alexander V. Sinenkii graduated from Electrical Engineering of Belarusian National Technical University in 2010. Since 2014, he is studying at the postgraduate course of the Institute of Energy of the National Academy of Sciences of Belarus. His research interests include renewable energy.

E-mail: carboforce@mail.ru

Исследование выполнено при поддержке БРФФИ по теме «Разработать научно-методические основы снижения энергоемкости продукции животноводства на базе управления этологическими признаками» по договору №Т15М-051 от 04.05.2015г.

UDC 620.92+502.174.3

IMAD A. ELZEIN, YURY N. PETRENKO

A STRUCTURE APPROACH FOR A PHOTOVOLTAIC STATION CONTROL BASED ON ADAPTIVE FUZZY AGENT

Belarusian National Technical University

The solar energy is directly converted into electrical energy by solar PV module. Each type of PV module has its own specific characteristic corresponding to the surrounding condition such as irradiation, and temperature and this makes the tracking of maximum power point (MPP) a complicated problem. To overcome this problem, many maximum power point tracking (MPPT) control algorithms have been presented. Fuzzy logic (FL) has been used for tracking the MPP of PV modules because it has the advantages of being robust, relatively simple to design and does not require the knowledge of an exact model where a mathematical model of the PV module, DC-DC converter, are used in the study of FL based MPPT algorithm. It is suggested to present this problem in the form of two-folds; first to identify the deviation of the power to maximum power point, and secondly, to control the voltage of the DC-DC converter corresponding to maximum power. In this paper, the first discussion approach will stress out the integration of model predictive control in maximum power point tracking MPPT and as progressing a second approach is identified as fuzzy logic controller FLC and perturb & Observe P&O algorithms are analyzed. All are interrelated to MPPT model for a photovoltaic module, PVM, to search for and generate the maximum power; in this case what's called P_{max} . As per the first technique the focus is on the optimal duty ratio, D , for a series of multi diverse types of converters and load matching. The design of the MPPT for a stand-alone photovoltaic power generation system is applied where the system will consist of a solar array with nonlinear time varying characteristics, and a converter with appropriate filters. The integration of model predictive control will be addressed first in this paper. The second fold will implement an MPPT system that use the FLC and compare it with a classical MPPT P&O algorithm through the utilization of Simulink. The novel design in the FLC will be based on the use of asymmetrical membership functions to compensate for the asymmetrical P-V curve of solar panel.

Keywords: photovoltaic station, maximum power point tracking (MPPT) control algorithms, fuzzy logic agent, model predictive control, optimal duty ratio.

Introduction

It has been obvious that maximum power point tracking algorithm is currently playing a vital role to enhance the efficiency of the solar panel as less than 40% of energy incident is being converted into electrical energy. Due to the growing dependency and the increasing need in acquiring electricity, and due to the limitations in supply and the uprisng prices of conventional sources (such as the continuous increase in electrical bills, generation, distribution, and maintenance of the electrical plants, fluctuating petroleum prices, etc.), photovoltaic (PV) energy vitality turns into a promising option as it is inescapable, openly accessible, environmentally promising, and has less operational and upkeep costs. Along these lines, the interest of PV era systems is by all accounts expanded for both standalone and grid-connected modes of PV systems. As a result, an efficient max-

imum power point tracking (MPPT) technique is vital for tracking the MPP at all environmental conditions and then push forward the PV system to functionally be operable at that MPP point. Undesirably, photovoltaic generation systems have two note-worthy issues: the conversion efficiency in electric power generation is somehow low (normally below 17 percent particularly under low irradiation conditions), and the amount of electric power generated by solar arrays changes persistently with climate conditions. Numerous MPPT methodologies have been recommended in the literature; the Perturb and Observe (P&O), the Incremental Conductance (IC), the Artificial Neural Network, and the Fuzzy Logic methods, etc. It has been noticed that the efficiency of the PV is influenced by the following two parameters: the panel's irradiance and temperature which are stochastic and unpredictable. In any PV module a DC/

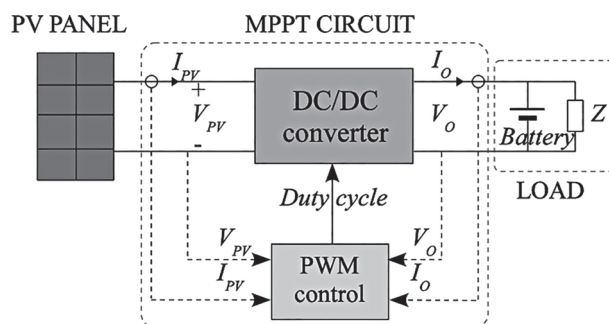


Fig. 1. MPPT module diagram

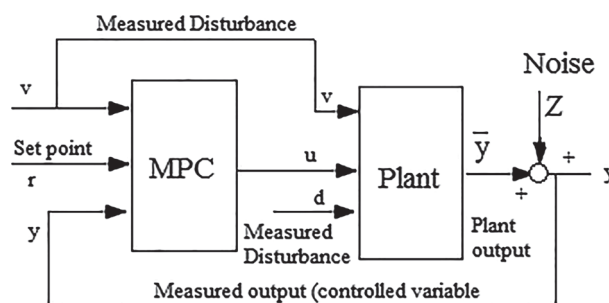


Fig. 2. Block diagram for MPC

DC converter is accountable for transferring maximum power to the load.

Unfortunately and since the MPP point must be sought, this can be achieved in either computation models or search algorithms. Figure 1 illustrates an MPPT module diagram.

We have to stress out that the voltage across the power-conditioning unit (DC-DC converter) is fed to get an isolated load. The input-output (I/P-O/P) voltage relationship for converter conduction mode is given by duty cycle. This paper will be expanded towards proposing an innovative fuzzy logic controller (FLC) for DC-DC converters that yield to an effective element of MPPT system so that it integrate itself into enhancing the photovoltaic modules to work under changeable operating conditions as well as dealing with the nonlinear properties of DC-DC power converters [1].

Overview of model predictive control

MPC is a model in view of line control approach with the following accompanying modules: a prediction horizon, a receding horizon procedure, and a regular update of the model and re-computation of the optimal control input [2, 3]. A block diagram of MPC system is shown in Figure 2. A process model is used to predict the current values of the output variables. The residuals, the differences between the actual and predicted outputs, serve as the feedback signal to a Predict-

tion block. The predictions are utilized as a part of two types of MPC calculations that are performed at each sampling instant: the first is the set-point calculations and the second is the control calculations.

The set points for the control calculations, which are called targets, calculated from an economic optimization based on a steady-state model of the process, conventionally, a linear model. In MPC the set points are customarily computed each time the control calculations are conducted.

Nonlinear predictive control

The basic principle of model predictive control is shown in Figure 3. At a denoted time (t) certain measurements are provided, which will trigger the controller to predicts the future dynamic behavior of the system over a prediction horizon T_p and furthermore determine (over a control horizon $T_c \leq T_p$) the input under the condition a predefined open-loop performance objective is optimized.

When neither disturbances exist nor mismatching model plant presence is evident, and if the optimization problem could be solved for infinite horizons, then we can apply the input function found at time $t = 0$ to the system for all times $t \geq 0$. As a matter of fact, this is not feasible generally. Because of the factors of disturbances and

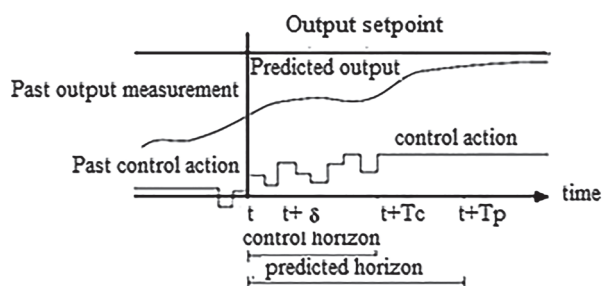


Fig. 3. Principle of model predictive control

the stressing model-plant mismatch, the real system behavior is going to differ from the predicted behavior. To integrate a feedback scheme, the open-loop manipulated input function acquired will be ready for implementation as the next measurement becomes available. The time difference between the recalculation/measurements can vary, however often it is assumed to be fixed, i. e. the measurement will take place every δ sampling time-unit. Using the new measurement at time $(t + \delta)$, then the whole process for the prediction and optimization is going to be repeated to find a new input function with the control and prediction horizons moving forward. Knowing that in Figure 3 the input is depicted as arbitrary function of time. For numerical solutions of the open-loop optimal control problem, it is often necessary to parameterize the input in an appropriate way. This is normally achieved by employing a finite number of basic functions; as an example, the input could be approximated as piecewise constant over the sampling time δ . The computation of the applied input (based on the predicted system behavior) permits the inclusion of constraints on states and inputs as well as the optimization of a given cost function. In general, the predicted system behavior will differ from the closed-loop one; and thus further cautionary should be taken into account to achieve closed-loop stability [1].

Adaptive Fuzzy logic Agent: Asymmetrical MFs

Asymmetric membership function and control rules, in which membership function and fuzzy rules are designed according to the nonlinear characteristic of PV module are introduced into fuzzy control to improve the control effect. Due to the asymmetrical characteristic of the solar cell P-V curve, asymmetrical MF is proposed to have a better performance. It can be observed from the

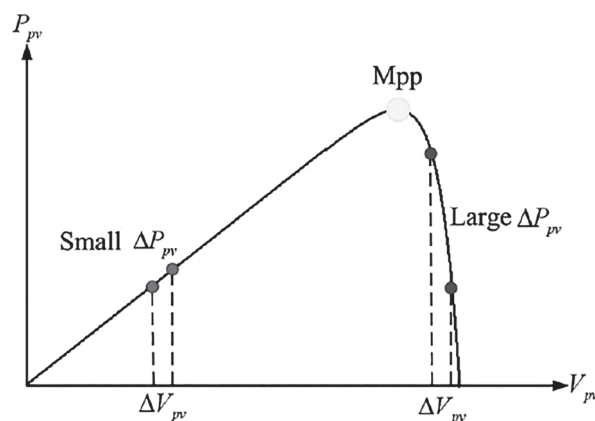


Fig. 4. Concept for designing MF setting values of novel adaptive

ΔP - ΔV curve that even the same voltage step ΔV_{pv} is applied; the power variations on both left and right half planes of MPP are quite different where the ΔP_{pv} on the left is smaller than that on the right (where the right side is large) and this can be seen in fig. 4.

To improve the efficiency of PV system, membership functions are designed again according to nonlinear characteristic of PV module. Due to $e(k)$ is nonlinear, membership function is designed in an asymmetric triangular form.

To implement easily the asymmetric fuzzy control and make the output of fuzzy controller stable, the membership of fuzzy controller output is designed as trapeze. The ΔD is the change of perturbation step.

The aim of fuzzy rules is to let the PV system to acquire a good dynamic and stable performances under different illuminations. So when the PV module operating point is away from MPP, the perturbation step should be large one to move the PV module to MPP quickly, when the PV module works near to MPP, the perturbation step should be small one to reduce the power oscillation around MPP.

Two dimensions fuzzy controller is designed in the proposed asymmetric fuzzy control. $E(k)$ is one input (error) variable and another one is CE (change of error) according to working point. The output of fuzzy controller is the change of perturbation step.

The design based on both sides of the nonlinear characteristic of PV module which can make PV system response to illumination changing quickly and output stable power. The selected asymmetrical membership functions are shown in figures 5, 6, and 7.

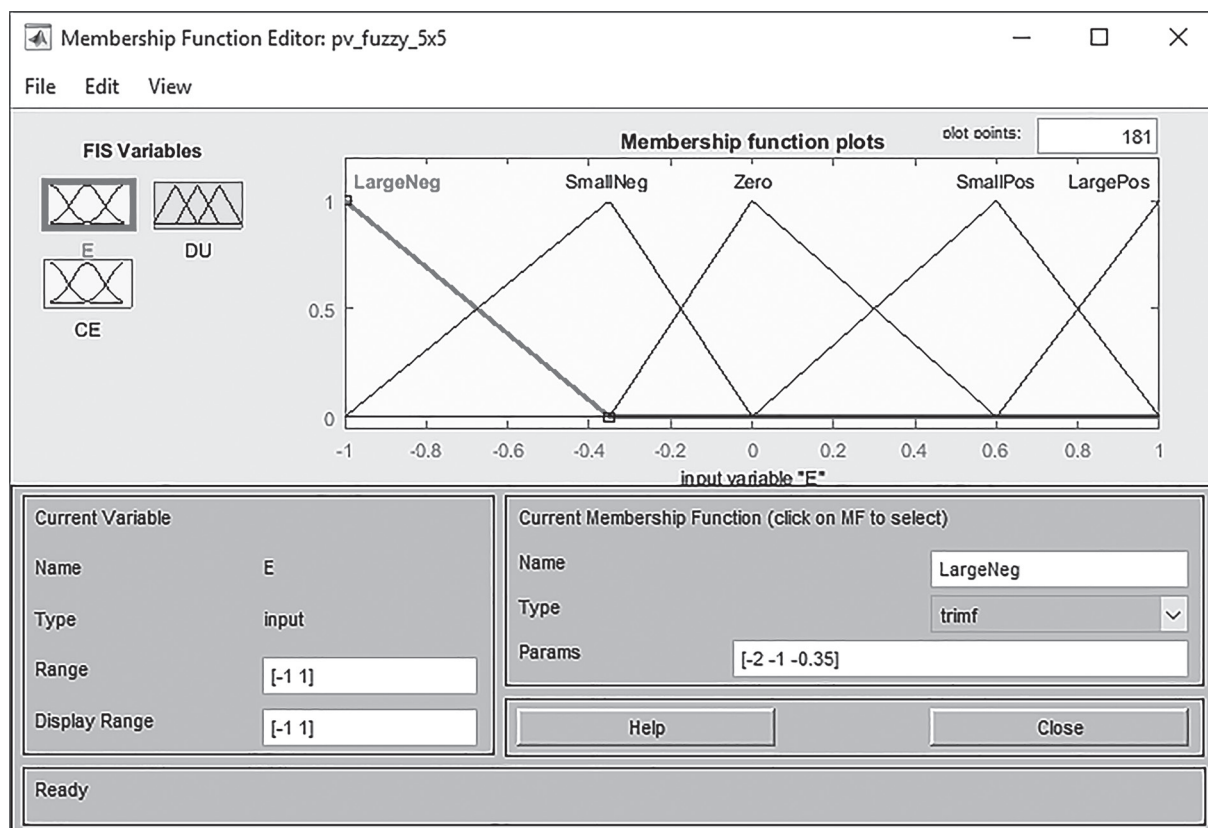


Fig. 5. Asymmetrical MF for E error

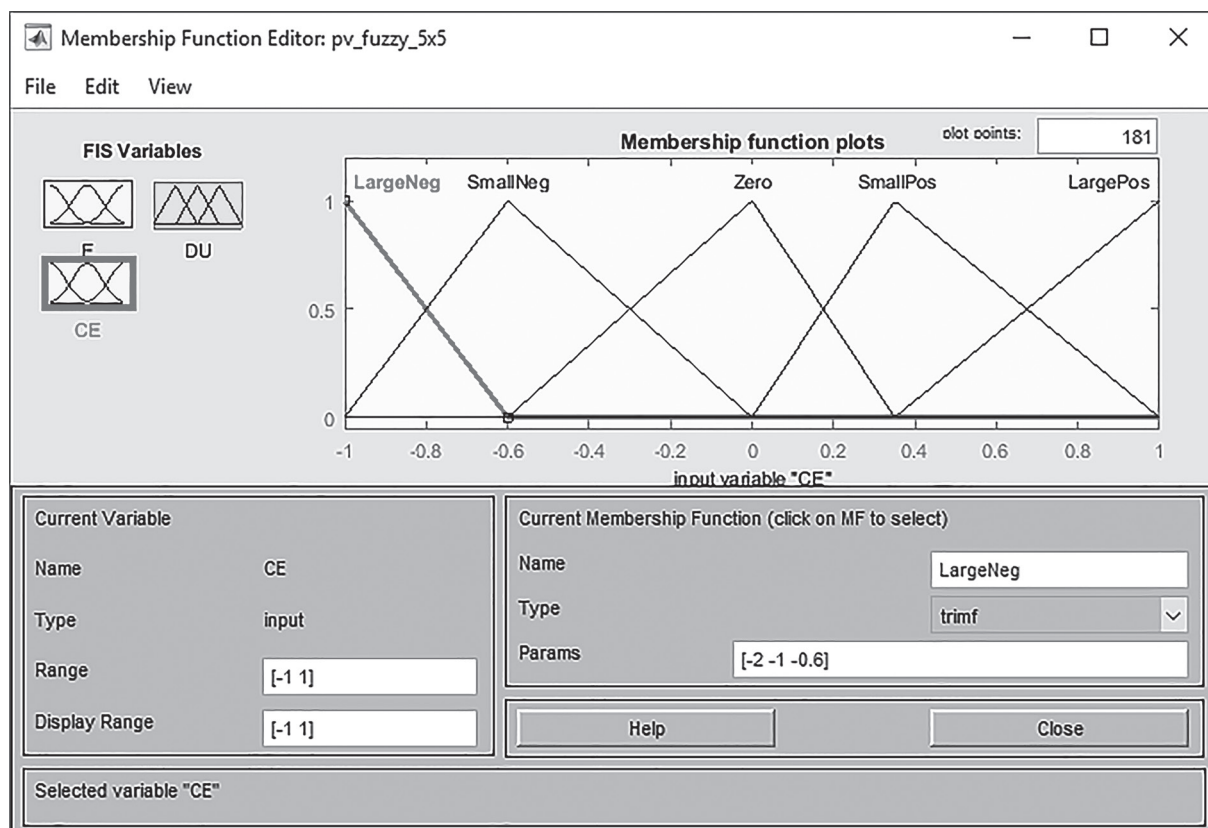


Fig. 6. Asymmetrical MF for CE change of error

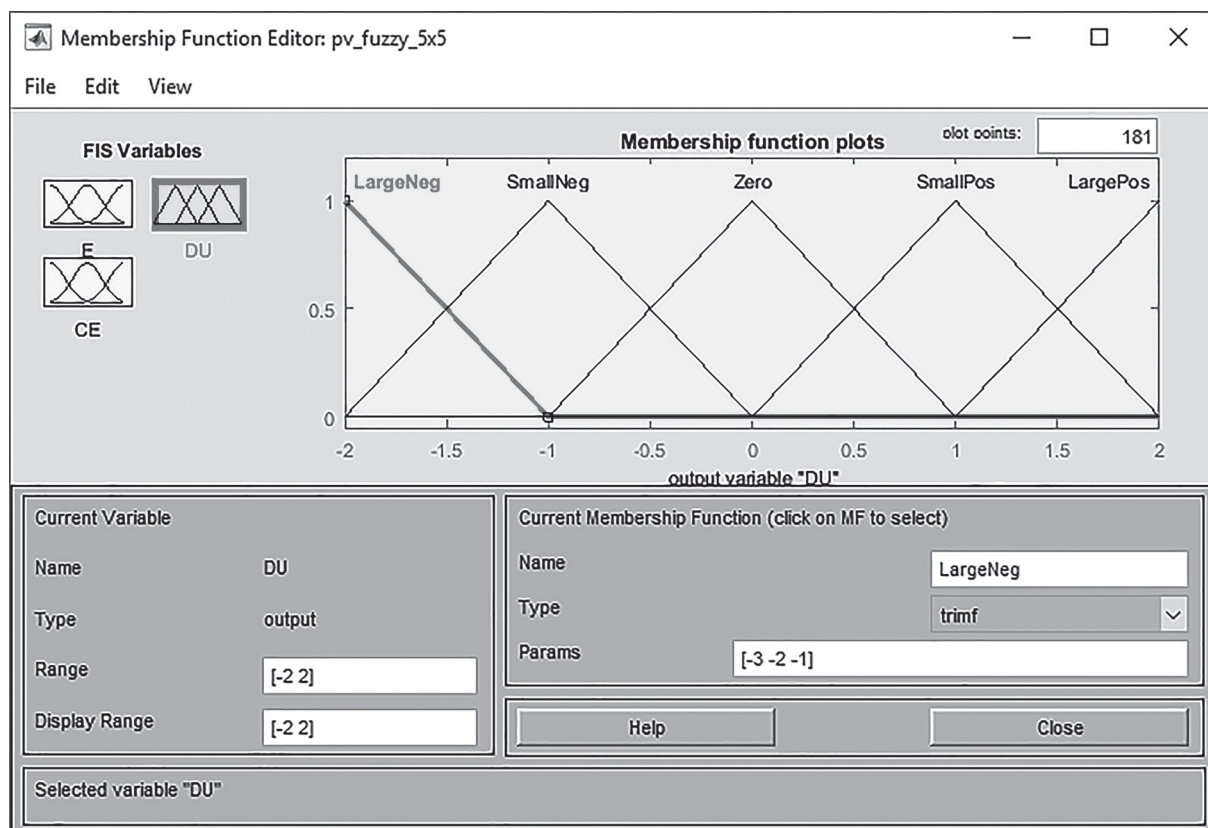


Fig.7. Membership functions for the change in duty cycle D

Simulations and results for FLC and P&O MPPT techniques

A new adaptation and simulation of a PV system using fuzzy logic controller that supports asymmetrical membership functions with an MPPT is addressed to overcome the asymmetrical nonlinear PV curve of a photovoltaic solar panels.

A sample of fuzzy rules are shown in table 1 and used to control the buck converter in a form to reach the maximum power point MPP of the photovoltaic PV generator, where the entries are a sort of fuzzy sets in the form of error (E), change of error (CE) and change of duty ratio (ΔD) to the converter.

Table 1. Fuzzy rules

E	CE				
	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	ZO	ZO	NB	NB	NB
NS	ZO	ZO	NS	NS	NS
ZO	NS	ZO	ZO	ZO	PS
PS	PS	PS	PS	ZO	ZO
PB	PB	PB	PB	ZO	ZO

Figure 8 shows an approach for a main PV model structure composed of PV array, a DC-DC converter in the form of buck or step down converter

along with MPPT controller which is connected to a load. This setup is manipulated inside the Matlab/simulink setting, which is shown in Figure 9.

Sunntech STb134.12/Tp represented the PV and its technical data is showing in table 2. Six PV modules connected in series formed the PV array which its total capacity is 810 W. The 105v DC input voltage was stepped down to 48v to fit the battery voltage level using a buck converter [11, 12].

In addition, and to implement the fuzzy logic controller FLC, FL toolbox in Matlab/Simulink will be selected and the simulation of fuzzy logic controller for MPPT to be conducted and as we progress an evaluation comparison with a Perturb & Observe (P&O) for MPPT controller was performed.

Table 2. PV module specs

Electrical specifications	Values
Open-circuit voltage	22.3 V
Short-circuit voltage	8.20A
Optimum operating voltage (V_{mpp})	17.5 V
Optimum operating current (I_{mpp})	7.71A
Maximum power at STC (P_{max})	135W
Current temperature coefficient of I_{sc}	$(0.055 \pm 0.01)\%K$
Voltage temperature coefficient	$-(75 \pm 10) mV/K$

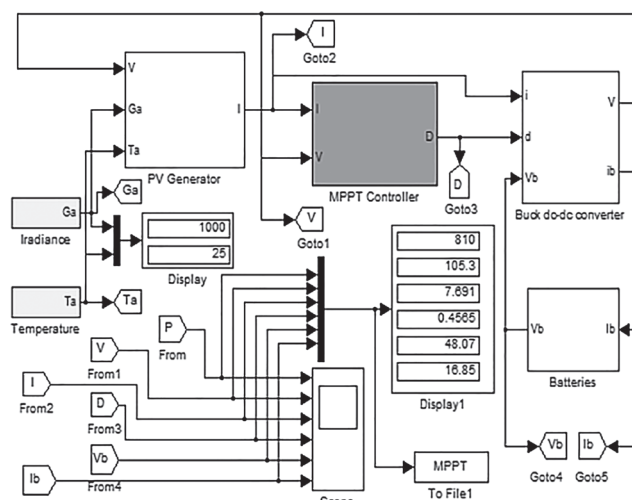


Fig. 8. Simulink implementation of the stand-alone PV system

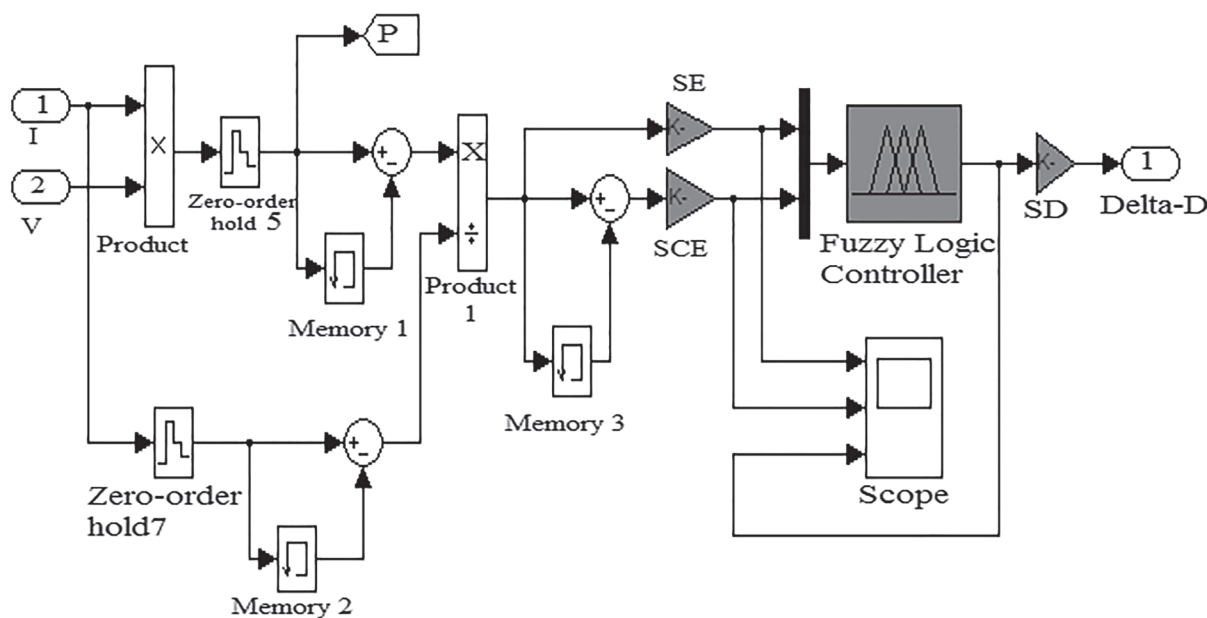


Fig. 9. FLC MPPT algorithm in MATLAB-Simulink

Figure 10 demonstrates the outcome of the simulation result of PV generator output power, operating current & voltage, and eventually the duty ratio «D» through the use of a buck converter and these results were obtained at a standard test conditions (STC) among the fuzzy logic controller «FLC» and the P&O based MPPT. To take the discussions a step forward obviously the outcome of the FLC MPPT had reduced clearly the response time of the PV system. On the other hand as we compare the above to P&O MPPT system, P&O showed an impact of energy losses. As we used the P&O technique there was an evidence of a continuous oscillation at the operation point and this was due to the incessant perturbation that took place at the operating voltage to

reach the maximum power point «MPP». As compared to the FLC technique such oscillation wasn't existing in FL based MPPT technique, and was able to optimize the overall results, where the signals of the other parameters which were namely the power «P», voltage «V», current «I», and duty ratio «D» continued to stay constant, which would cause an impact on the reduction of power loss.

Figure 11 displays the simulation of the increase in irradiance from a 1000 w/m^2 to 1200 w/m^2 . This fast increase was taking place at a «2 sec» time period, knowing that the temperature of the cell was staying at a constant temperature level of 25°C . In accordance to those operational conditions, FLC technique was more reliable. More-

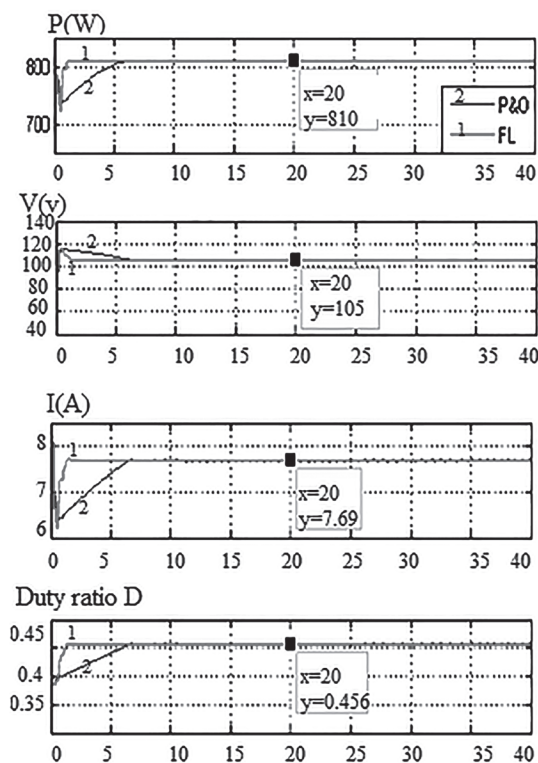


Fig. 10. Comparing P&O and FL signals

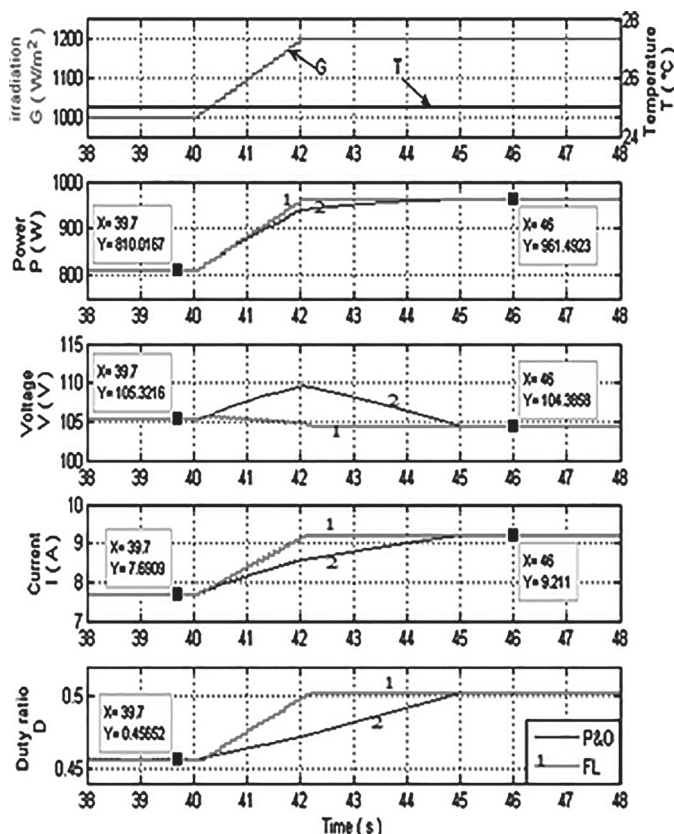


Fig. 11. FL and P&O methods at fast increasing irradiation

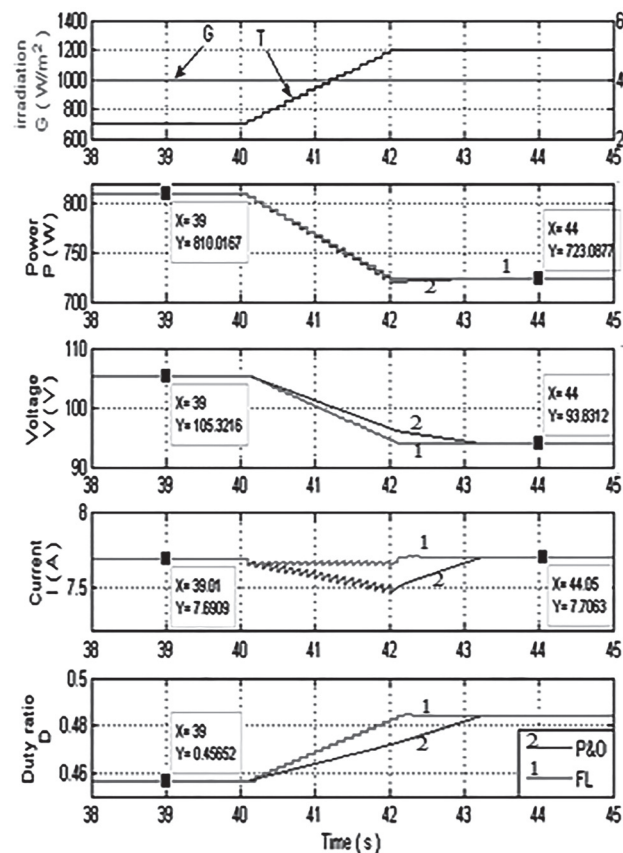


Fig. 12. FL and P&O methods at fast increasing temperature

over, linearity was increased at the output power of the FLC, where, the P&O technique deviated from the maximum power point «MPP».

Figure 12 displays the simulation of the increase in cell temperature from «25 °C» to «50 °C» which was taking place at a «2 sec» time period.

From the simulation results we can clearly see that irradiation stayed constant on a 1000 w/m² value. In nutshell, Figure 12 shows that the output power with a decreased linearity as we applied both MPPT algorithms namely the fuzzy logic and Perturb and Observe. At the same time P&O MPPT method resulted in low deviation from the maximum power point MPP.

Conclusion

The employment of MPPT for PV stations and their applications were addressed in the form of two schemes; a first scheme was an adaptation structure of a model predictive control (MPC) for a PV station that is considered to be a promising technique to maximize the efficiency of the power utili-

zation. The second scheme of the paper was focusing on the implementation and simulation of fuzzy logic controller (fuzzy logic agent) using asymmetrical membership functions for MPPT to seek the maximum power point and comparing it

to P&O. From the simulation results, FLC provided a reliable response as compared to the P&O controller in regards to main performance of MPPT where FL was better in regards to the response time and oscillation.

References

- [1] **Elzein Imad, Petrenko Yury**. An Integration of a Predictive Control Model and MPPT for PV Station. IEEE Region 8, International Conference on Smart Systems and Technologies (SST 2016), proc. Of IEEE trans., Croatia, IEEE, region 8, pp. 275–280, ISBN: 978–1–5090–3718–6, IEEE catalog number: CFP16G03-PRT
- [2] **Elzein, I.** Predictive Model Control for Photovoltaic Station. / Imad Elzein, Y. N. Petrenko // Наука – образованию, производству, экономике: материалы. 14-й. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, июнь, 2016 г. В 4 т. / Белорус, национ. техн. ун-т; редкол.: Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 238.
- [3] **Elzein I. Imad**. An Evaluation of Photovoltaic Systems MPPT Techniques Under the Characteristics of Operational Conditions. / Imad Elzein, Y. N. Petrenko // System Analysis and Applied Information Science. – 2017. – № 2, P. 30–38.
- [4] Impulse control hybrid electrical system / **Imad Elzein** [et al.] // System Analysis and Applied Information Science, – 2016. – № 4, – P. 46–52.
- [5] **Elzein, Imad**. Аналитические методы определения параметров режима максимальной выходной мощности солнечных батарей / Imad Elzein, Ю. Н. Петренко // Информационные технологии в образовании, науке и производстве: IV Международная научно-техническая интернет-конференция, 18–19 ноября 2016 г. Секция Информационные технологии в производстве и научных исследованиях [Электронный ресурс]. – [Б. и.], 2016. Режим доступа: <http://rep.bntu.by/handle/data/27252>. Дата доступа: 30.06.2017.
- [6] **Nevzat Onat**. Recent Developments in Maximum Power Point Tracking Technologies for Photovoltaic Systems. International Journal of Photo energy, Vol. 2010, Article ID 245316, 11 pp., doi:10.1155/2010/245316.
- [7] **Elzein, I.** Maximum Power Point Tracking System for Photovoltaic Station: a Review. System Analysis and Applied Information Science, No. 3, 2015, pp.15–20.
- [8] **D. P. Hohm and M. E. Ropp**, «Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed,» in Proc. Photovoltaic Specialist Conference, pp. 1699–1702, 2000.
- [9] **K. H. Hussein, I. Muta, T. Hoshino, and M. Osakada**, «Maximum power point tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions» IEE Proc.-Gen. Transm. Distrib., 1995. Vol. 142, pp. 59–64.
- [10] **Mattavelli, P., Rossetta, L., Spiazzi, G., & Tenti, P.** General purpose fuzzy logic controller for DC-DC converters. IEEE Transactions on Power Electronics, 12(1), 1997, pp. 79–85.
- [11] **E. Koutroulis, F. Blaabjerg**. «A New Technique for Tracking Global Maximum Power Point of PV Arrays Operating Under Partial-Shading Conditions» IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, vol. 2, no. 2, April 2012.
- [12] **Petrenko, Y. N.** Fuzzy logic and genetic algorithm technique for non-linear system of overhead crane / Y. N. Petrenko, S. E. Alavi. Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON), 2010 IEEE Region 8 International Conference, 11–15 July 2010. pp. 848–851.

Поступила
24.06.2017

После доработки
21.08.2017

Принята к печати
10.09.2017

Аймад Эльзейн. Ю. Н. Петренко

СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИЕЙ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО НЕЧЕТКОГО АГЕНТА

Белорусский национальный технический университет

Преобразование солнечной энергии непосредственно в электрическую осуществляется солнечными модулями в составе фотоэлектрической станции (ФЭС). Каждый модуль имеет свою характеристику зависимости генерируемой мощности от напряжения (P - V) при определенных условиях окружающей среды: интенсивности солнечного излучения и температуры. Характеристика P - V имеет уникальную точку максимальной выходной мощности (МВМ) и ее отслеживание является достаточно сложной проблемой. В мировой практике предложено большое разнообразие алгоритмов, обеспечивающих функционирование ФЭС при МВМ. Предложено рассматривать решение этой задачи в два этапа: 1 – выбор алгоритма идентификации отклонения и 2 – проектирование контроллера управления преобразователем постоянного тока, обеспечивающего величину напряжения, соответствующей точке МВМ. Наиболее совершенными характеристиками обладает предложенный адаптивный нечеткий агент, функции принадлежности (ФП) которого разработаны с учетом характерных уникальных свойств ФЭС: нелинейности характеристики P - V и ее несимметричности относительно точки МВМ. Приведен пример формирования ФП.

Эффективность предложенных решений подтверждается результатами проведенного численного эксперимента на разработанной имитационной модели в среде MATLAB-Simulink.

При этом адаптивный нечеткий агент обеспечивает сокращение времени выхода на заданную траекторию примерно вдвое.

Ключевые слова: фотоэлектрическая станция, максимально выходная мощность алгоритм управления, агент нечеткой логики, упреждающее управление, оптимальный сигнал управления.



Imad A. Elzein is a computer engineer who pursued his undergraduate and graduate level degrees in computer engineering from Wayne State University, Michigan, USA in 2004. Currently, Imad is an assistant professor and a program coordinator in the Computer Science and IT Department, at the Lebanese International University (Lebanon). Imad has more than 17 years of solid hands-on experience in telecommunication, and networks engineering environments and a certified Cisco and Microsoft instructor. Imad's research interest is in the fields of PhotoVoltaics solar panels and renewable energy, Network Infrastructure, Robotics design, and Mobile Telecommunication.



Yury N. Petrenko, IEEE member, graduated from Metallurgical College (Enakievo, Ukraine) and started working as a steelmaker at open-hearth Steel Works Plant in Donetsk. He received the Engineer degree (with honors) in electrical engineering from the Belarusian Polytechnic Institute (now Belarusian National Technical University – BNTU) in 1962 and PhD in 1971. In 1965–66, he was a research fellow at the University of California, Berkeley. Since 1974, he has been an Associate professor (in 1995–2005 professor) at the department of Automatic Control of Electrical Drive Systems of BNTU. In 1972–73 he was a UN (UNIDO) expert in Automation in Sofia (Bulgaria) and Vienna. In 1985 he was honored as inventor of the USSR. In 1980–90th, he was a visiting lecturer and research fellow in Syria (Tishrin University, Latakia and Aleppo University), Czechoslovakia, Lebanon and Cuba. He has been teaching Automatic Control of Electric Drives, Numerical Control Systems and Programmable Logic Controllers. He is an author, Editor and Co-Author of 8 books, recommended by Ministry of Education for University and College – level engineering education and 2 Monographs (in coop). His main research interests in recent years include data signal processing, new control techniques applied to power electronics and electric drives.

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

УДК 004.7

¹ В. А. РЫБАК, ²ШОКР АХМАД

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УЧЁТА НАЛИЧИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

¹Белорусская государственная академия связи²Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является создание автоматизированной системы учёта наличия и использования природных ресурсов в Республике Беларусь. Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи: провести аналитический обзор подобных информационных систем, выделить их достоинства и недостатки, разработать новую усовершенствованную версию системы с учётом предыдущего опыта использования, апробировать полученный инструмент для оценки экологичности природоёмких производств и технологий. В статье приводится аналитический обзор современных программных средств автоматизации учёта и рационального использования природных ресурсов. Показано, что их применение не возможно для качественного решения актуальных задач в нашей стране.

Последовательно описаны три версии автоматизированной системы, предназначенной для сбора, хранения, обработки и представления предметных данных о наличии и использовании природных ресурсов. Выполнен сравнительный анализ с существующими аналогами. Указаны отличительные особенности и преимущества предложенного решения. С использованием разработанной системы выполнена оценка природоёмкости проектов в составе Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 20011–2015 годы. Выделено Министерство энергетики – как государственный заказчик наиболее природоёмких проектов и технологий. Таким образом, показано, что предлагаемая автоматизированная информационная система учёта наличия и использования природных ресурсов позволяет выполнять сбор, хранение, анализ и отображение предметной информации, а также является актуальной основой для поддержки принятия управленческих решений в области рационального природопользования и охраны окружающей среды. Полученные результаты использованы Государственным комитетом по науке и технологиям для оценки проектов в составе Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы на предмет природоёмкости.

Ключевые слова: природные ресурсы, кадастры, автоматизированная система, инновационные производства

Введение

С начала человеческой истории люди используют различные природные ресурсы (ПР) для обеспечения своей жизнедеятельности. Но только с развитием новых технологий появилась возможность как достаточно точно определять их местонахождение, так и хранить специализированную информацию в соответствующих предметных базах данных.

Несмотря на существенную разницу в структуре данных о различных природных ресурсах, представляется достаточно актуальным разработать комплексную систему для сбора, хранения, обработки и отображения информации о природно-ресурсном потенциале (ПРП) Республики Беларусь, которая бы служила основой для поддержки принятия решений в области рационального природопользования.

Дополнительный запрос в Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации подтвердил уникальность проектируемого комплексного решения, однако нельзя отрицать наличия более узких решений, таких, например, как информационная система «Недра» (ИС «Недра»). Эта система является основным отраслевым банком данных о недропользовании, разрабатывается с 1998 г., введена в эксплуатацию в 2001 г.

Информация в ИС «Недра» собирается на местах и ежеквартально передаётся в Росгеолфонд для обобщения. Данная система требует специальной установки и канала доступа к базе данных Росгеолфонда и включает следующие взаимосвязанные блоки: «Предприятия», «Лицензии», «Участки недр», «Работы по геологическому изучению недр», «Буровые скважины

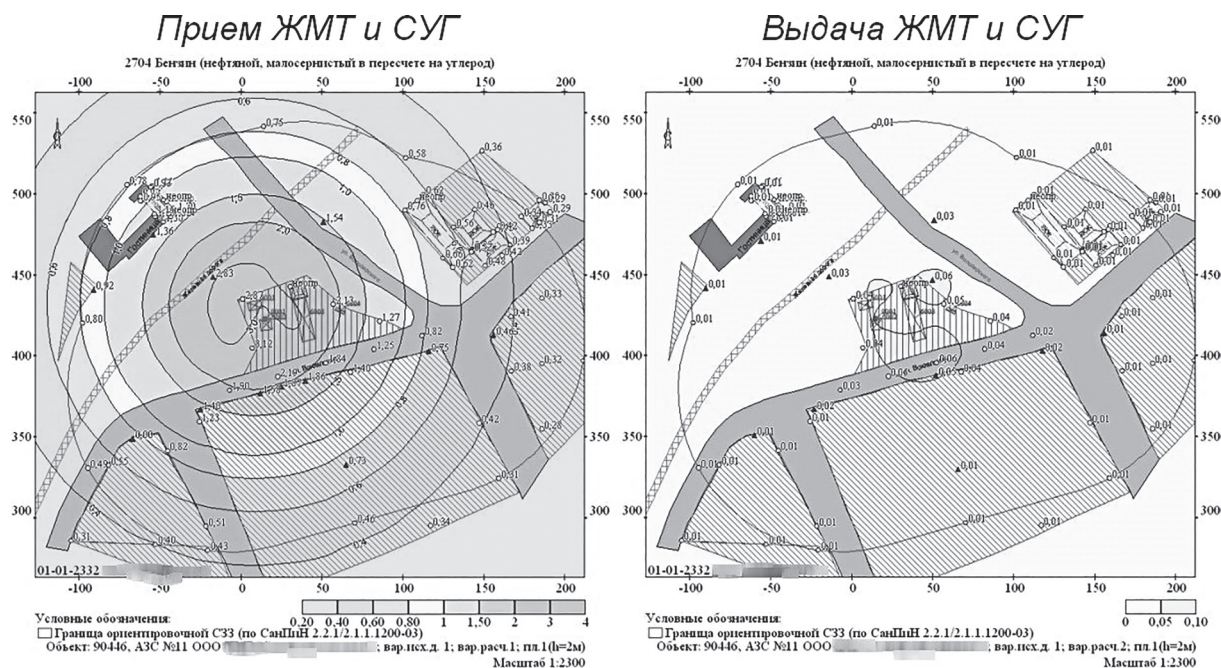


Рис. 1. Пример использования программы УПРЗА «Эколог»

на воду», «Объекты государственного баланса запасов полезных ископаемых», «Каталог документов», «Объекты учёта государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых».

Достаточно известным инструментом для автоматизации управления природоохранной деятельностью является УПРЗА «Эколог» (Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог») – разработанная Фирмой «Интеграл» программа для расчёта величин концентраций (приземных и на произвольной высоте) вредных веществ в атмосферном воздухе. В основу расчётов положена «Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» Госкомгидромета. В зависимости от модификации программы реализуются также Приложение II к указанной «Методике...» (учет застройки и расчет на различных высотах) и «Отраслевая методика расчета приземной концентрации загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах компрессорных станций магистральных газопроводов». Программа позволяет по данным об источниках выброса веществ и условиях местности рассчитывать разовые (осредненные за 20–30 минутный интервал) концентрации веществ в приземном слое при неблагоприятных метеорологических условиях. В расчетах могут быть учтены нагретые и хо-

лодные выбросы точечных, линейных и площадных источников. Площадные источники могут быть трех типов: с выбросом со сплошной поверхности, для которых нельзя указать полного набора характеристик газовой воздушной струи: скорости и объема выходящих газов, диаметра устья источника (например, пруды-испарители, пылящие поверхности и т. п.); с выбросом со сплошной поверхности, для которых выброс по каждому веществу может иметь несколько (до пяти) значений в зависимости от наблюдаемой скорости ветра; описывающие выбросы из многих мелких точечных источников (например, печных труб в поселке); описывающие выбросы от автомагистралей. Общее число источников выбросов практически не ограничено.

Таким образом, программа УПРЗА «Эколог» может быть использована для оценки рассеивания выбросов в атмосферный воздух от промышленных предприятий (рис. 1), но для целей комплексной оценки экологичности данный продукт не подходит.

Схожие функции имеет и следующая рассматриваемая система «Эколог Город». Система «Эколог-город» разработана для автоматизации деятельности экологических служб администраций городов (регионов), проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. Результаты сводных расчетов загрязнения атмосферы могут быть использованы в це-

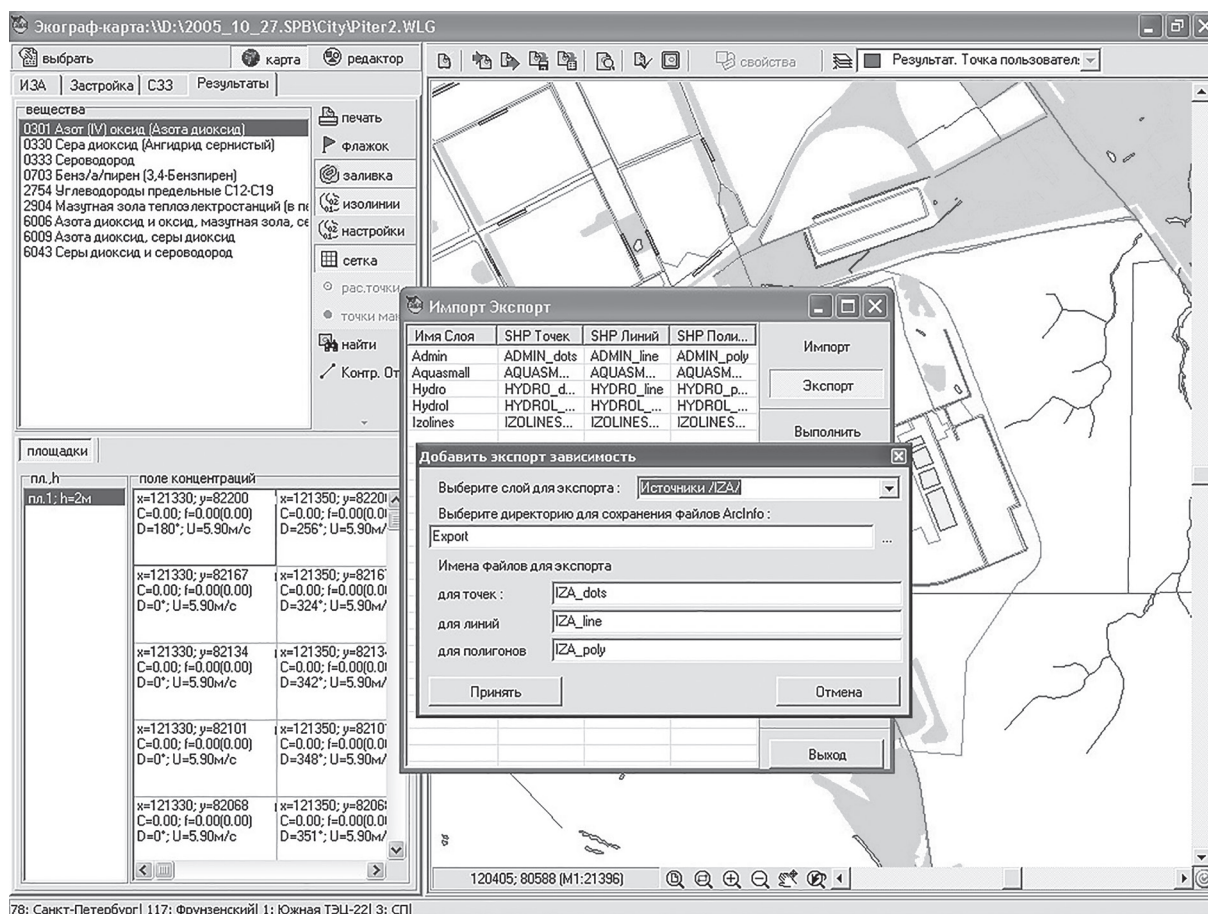


Рис. 2. Пример использования программы «Эколог Город»

лях нормирования выбросов загрязняющих веществ и для решения других задач.

Система позволяет:

- Устанавливать диагноз состояния качества атмосферного воздуха (региона);
- Определять доли вкладов различных предприятий (по территориальному или отраслевому принципу) в загрязнение воздуха;
- Определять фоновые концентрации по всем веществам, содержащимся в выбросах промышленности и автотранспорта;
- Оценивать ожидаемые изменения качества атмосферного воздуха города (региона) с учетом динамики выбросов предприятий и автотранспорта города (региона);
- Проводить оценку эффективности планируемых хозяйственных и природоохранных мероприятий;
- Определять допустимые вклады выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями.

Очевидно, что данный инструмент может быть использован для сравнения выбросов

в атмосферный воздух от различных предприятий, что может быть использовано при оценке экологичности (рис. 2).

Таким образом, проведенный анализ позволяет утверждать, что на сегодняшний день рынок предлагает большой выбор программных продуктов в области охраны окружающей среды. При этом ведущими фирмами-поставщиками компьютерных программ для экологов являются:

- ЗАО Научно-производственное предприятие «Логус», г. Красногорск, <http://www.logus.ru>,
- ООО «Предприятие ЛиДа инж.», г. Москва, <http://www.ecolida.ru>,
- ООО «Фирма Интеграл», г. Санкт-Петербург, <http://www.integral.ru>,
- ООО «Экологический центр», г. Воронеж, <http://www.soft.eco-c.ru>.

Разработка автоматизированной системы

С учётом анализа существующих аналогов систем управления кадастровой информацией и поставленными задачами были разработаны

Озера по основным речным бассейнам



Данные

Площадь зеркала, км2	Западная Двина	Неман	Западный Буг	Днепр
<0.10	1875	984	318	6252
0.11-0.25	360	-	1	184
0.26-0.50	229	24	11	66
0.51-1.00	154	23	2	13

Рис. 3. Информация на web-сайте

научно-методические основы и программные средства для автоматизации процесса сбора, хранения, обработки и отображения соответствующих предметных данных.

Первая версия АИС «Кадастры» была разработана в 2005 году и внедрена в структурах Минприроды, а также в профильном институте Национальной академии наук Беларуси.

Главным объектом анализа, оценки и управления методами и средствами АИС являются природные ресурсы административной территории Республики Беларусь как регионального уровня (областей), так и более мелкого ранга – административных районов. Поскольку ПР в совокупности с позиции народного хозяйства и экономики страны представляют собой природно-ресурсный потенциал территорий (регионов), то основным объектом оценки и управления можно рассматривать ПРП районов, областей (регионов) и республики в целом.

Сформированные структуры и составы отдельных 11 баз данных представляют собой первый вариант создания баз данных как по отдельным природным ресурсам, так и в целом многоцелевую базу данных (МБД), и являются основным источником информации о ПР и ПРП и базисом любой отрасли экономики, включая инновационной ориентированной.

Промышленная эксплуатация первой версии АИС «Кадастры» выявила целесообразность переноса системы на web-ориентированную основу, что и было сделано в дальнейшем.

Во второй версии АИС «Кадастры» были реализованы все функции предыдущей версии с добавлением новых, включая построение диаграмм (рис. 3) и редактирование структуры таблиц (рис. 4). Предметные данные при этом хранятся на сервере провайдера и доступны круглосуточно.

Также был модернизирован алгоритм авторизации пользователей, позволяющий отправлять запросы администратору по электронной почте.

Использование второй версии автоматизированной системы подсказало пути дальнейшего усовершенствования с целью предоставления конечным пользователям удобного и надёжного инструмента.

В третьей версии системы (рис. 5) была добавлена возможность работы с географическими координатами и привязкой природного ресурса к карте. Это позволяет реализовывать выбор оптимального расположения ресурсоёмких производств с учётом минимизации стоимости транспортировки различных ресурсов, включая электрическую и тепловую энергию [1, 2].

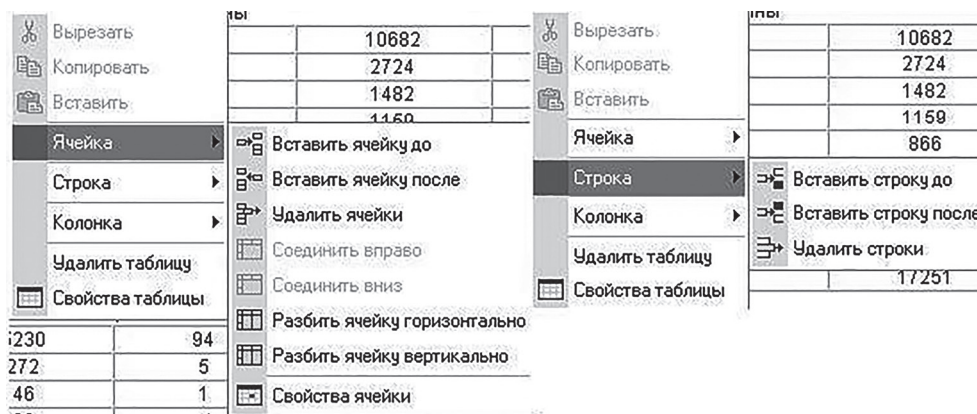


Рис. 4. Конструктор ячеек и таблиц

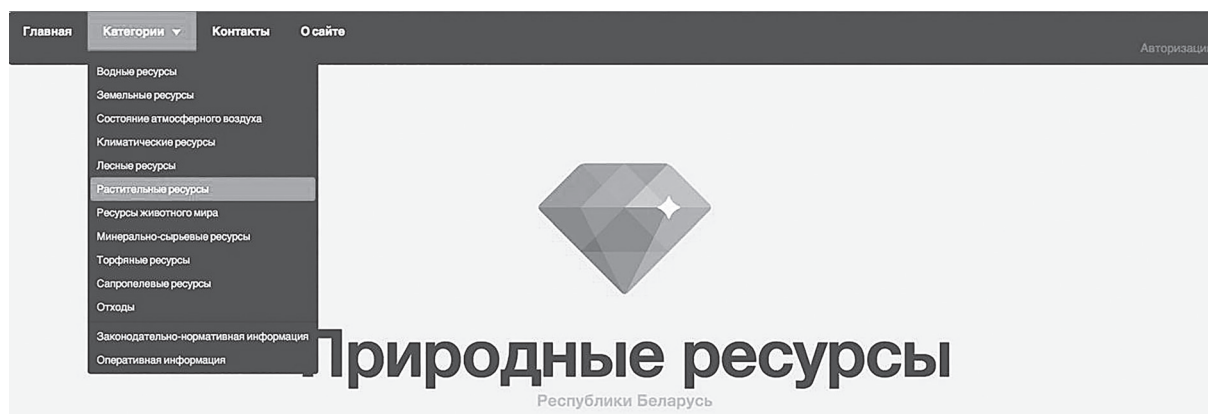


Рис. 5. Главная страница третьей версии

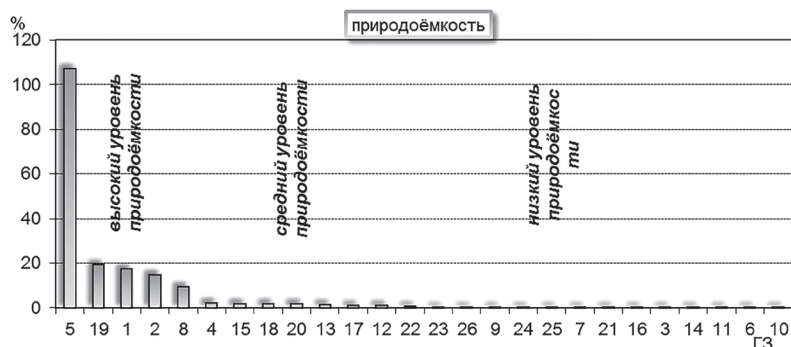


Рис. 6. Ранжирование ГЗ по различным уровням значимости природоёмкости

Указанная задача решается с использованием теории графов с учётом загруженности каждого ребра в соответствии со стоимостью транспортировки (прокладки новых линий и дорог) каждого используемого ресурса в точку конечного потребления.

В целом, предложенная автоматизированная система важна для анализа и оптимизации параметров экологичности ресурсоёмких проектов, включая новые инновационные производства. Применительно к Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2001–2015 годы на рис. 6 представлено ранжирование Государственных заказчиков (ГЗ) по показателю «природоёмкость» [3, 4].

На рис. 6 указаны ГЗ:

1. Министерство промышленности;
2. Министерство архитектуры и строительства;
3. Министерство образования;
4. Министерство сельского хозяйства и продовольствия;
5. Министерство энергетики;
6. Министерство жилищно-коммунального хозяйства;

7. Министерство информации;
8. Министерство связи и информатизации;
9. Министерство транспорта и коммуникаций;
10. Министерство культуры;
11. Министерство лесного хозяйства;
12. Национальная академия наук;
13. Государственный военно-промышленный комплекс;
14. Государственный комитет по науке и технологии;
15. Концерн «Белбиофарм»;
16. Концерн «Белгоспищером»;
17. Концерн «Беллегпром»;
18. Концерн «Беллесбумпром»;
19. Концерн «Белнефтехим»;
20. Брестский областной исполнительный комитет;
21. Витебский областной исполнительный комитет;
22. Гомельский областной исполнительный комитет;
23. Гродненский областной исполнительный комитет;
24. Минский областной исполнительный комитет;

25. Могилевский областной исполнительный комитет;

26. Минский городской исполнительный комитет.

В таблице представлены отличительные характеристики предложенного решения в сравнении с уже существующими.

Сравнение АИС «Кадастры» с аналогами

Название	Характеристики
Информационная система «Недра»	Банк данных о недропользовании Российской Федерации; требует специальной установки и канала доступа; не содержит данных обо всех природных ресурсах.
Лесной реестр	Учёт лесных участков Российской Федерации; не содержит данных обо всех природных ресурсах.
Водный реестр (АИС «ГВР»)	Сведения о водных объектах Российской Федерации; не содержит данных обо всех природных ресурсах.
Arc View, Map Info	Многофункциональные ГИС; могут служить инструментом для решения широкого круга задач, но требуют предварительной разработки структуры и наполнения предметных баз данных, метаданных, комплексных показателей качества природных сред.

Выводы

Исходя из выше сказанного отметим, что не существует полных аналогов разработан-

ной АИС «Кадастры», которые можно было бы использовать без изменений и доработок. Пакеты современных ГИС могут быть использованы как основа для создания схожего решения, но без разработанных в АИС «Кадастры» структуры и наполненных предметных баз данных, метаданных и комплексных показателей решение поставленных задач не возможно.

Представленная структура кадастровых баз данных по 11 ресурсам с учётом специфики Республики Беларусь не претендует на пионерство в области ГИС, но обладает большой практической значимостью, так как впервые позволила интегрировать разрозненные базы, кадастры и реестры в единый инструмент поддержки принятия решений в области рационального природопользования.

Над созданием современных пакетов ГИС работают сотни коллективов с тысячами сотрудников, при этом выходной продукт предлагается по цене нескольких десятков и даже сотен тысяч долларов. Научная новизна разработанных технологий обусловлена тем, что предложены пути автоматизации решения природоохранных задач, наиболее актуальных для Республики Беларусь, и тем самым повышается эффективность рационального природопользования.

Литература

1. Шенец, Л. В. Состояние и перспективы использования топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь / Л. В. Шенец, И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак // Новости науки и технологий. – 2010. – № 3.
2. Войтов, И. В. Научно-аналитические подходы к оценкам состояния и повышению эффективности технологических процессов инновационных производств / И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак // Вестник БГУ. – 2009. – № 1. – С. 100–106.
3. Рыбак, В. А. Аналитический обзор технологий поддержки принятия решений / В. А. Рыбак, А. Шокр // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 3. – С. 65–70.
4. Рыбак, В. А. Научно-методические основы и программные средства автоматизации оценки и анализа параметров перспективных эколого-безопасных технологий / В. А. Рыбак, Ахмад Шокр, А. Д. Гриб. – Минск: РИВШ, 2017. – 264 с.
5. Войтов, И. В. Научно-инновационный метод оценки и оптимизации управления эколого-экономической эффективностью рационального природопользования / И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак // Вестник ПГУ. – 2008. – № 6. – С. 129–138.
6. Автоматизированная система формирования и управления кадастровой информацией о состоянии и использовании природных ресурсов Республики Беларусь (АИС «Кадастры») / М. А. Гатих [и др.] // Природные ресурсы. – 2006. – № 4. – С. 25–31.
7. Войтов, И. В. Научно-инновационный метод оценки и оптимизации управления эколого-экономической эффективностью рационального природопользования / И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак // Вестник ПГУ. – 2008. – № 6. – С. 129–138.
8. Гатих, М. А. Научно-методические рекомендации по решению проблем анализа, оценки и управления качеством окружающей среды / М. А. Гатих [и др.]. – Мн.: «БелНИЦ «Экология», 2005. – 40 с.
9. Рыбак, В. А. Методы принятия решений в экологии / В. А. Рыбак. – Саарбрюкен: Lap Lambert Academic Publishing, 2014. – 376 с.
10. Рыбак, В. А. Система поддержки принятия решений в области управления параметрами экологичности промышленных проектов / В. А. Рыбак, А. Шокр // Scientific achievements of the third millennium: Collection of scientific

papers on materials International Scientific Conference, San Francisco (USA), July 21st, 2016 / LJournal – San Francisco – USA, 2016. – P. 38–42.

References

1. **Shenets, L. V.** Status and prospects of using fuel and energy resources in the Republic of Belarus / L. V. Shenets, I. V. Voitov, M. A. Gatikh, V. A. Fisherman // News of science and technology. – 2010. – No. 3.
2. **Voitov, I. V.** Scientific-analytical approaches to assessing the state and improving the efficiency of technological processes of innovative production / I. V. Voitov, M. A. Gatikh, V. A. Fisherman // Bulletin of BSU. – 2009. – No. 1. – S. 100–106.
3. **Rybak, V. A.** Analytical review of decision support technologies / V. A. Rybak, A. Shokr // System Analysis and Applied Informatics.-2016.- No. 3.- P. 65–70.
4. **Rybak, V. A.** Scientific and methodical foundations and software tools for automating the assessment and analysis of parameters of promising ecologically safe technologies / VA Rybak, Ahmad Shokr, AD Grib. – Minsk: RIVSH, 2017. – 264 p.
5. **Voitov, I. V.** Scientific and innovative method of assessment and optimization of management of environmental and economic efficiency of rational nature management / I. V. Voitov, M. A. Gatikh, VA Rybak // Bulletin of the PGU. – 2008. – No6. – P. 129–138.
6. **Automated system** of formation and management of cadastral information on the state and use of natural resources of the Republic of Belarus (AIS «Cadastres») / M. A. Gatikh [and others] // Natural Resources. – 2006. – № 4. – P. 25–31.
7. **Voitov, I. V.** Scientific and innovative method of assessment and optimization of management of environmental and economic efficiency of rational nature management / I. V. Voitov, M. A. Gatikh, VA Rybak // Bulletin of the PGU.-2008. – ? 6. – P. 129–138.
8. **Gatikh, M. A.** Scientific and methodological recommendations for solving problems of analysis, assessment and management of environmental quality / M. Gatikh [and others]. – Mn.: «BelNIC» Ecology», 2005. – 40 p.
9. **Rybak, V. A.** Methods of decision making in ecology / B. A. Fisherman. – Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2014. – 376 p.
10. **Rybak, V. A.** System of decision support in the field of management of environmental parameters of industrial projects / V. A. Rybak, A. Shokr, Scientific achievements of the third millennium: Collection of scientific papers on materials International Scientific Conference, San Francisco (USA), July 21st, 2016 / LJournal-San Francisco-USA, 2016. – P. 38–42.

Поступила
24.05.2017

После доработки
06.06.2017

Принята к печати
10.09.2017

Rybak V. A., Chokr Ahmad

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF CONTROL OF AVAILABILITY AND USING OF NATURAL RESOURCES

Belarusian National Technical University

The purpose of this work is to create an automated system for recording the availability and use of natural resources in the Republic of Belarus. To achieve this goal, the following main tasks were solved: to conduct an analytical review of similar information systems, to highlight their advantages and disadvantages, to develop a new improved version of the system, taking into account previous experience of use, to test the received tool for assessing the environmental friendliness of nature-intensive production and technology. The article provides an analytical review of modern software tools for automation of accounting and rational use of natural resources. It is shown that their application is not possible for a qualitative solution of urgent problems in our country. Three versions of the automated system designed for collecting, storing, processing and presenting subject data on the availability and use of natural resources are consistently described. Comparative analysis with existing analogs is carried out. The distinctive features and advantages of the proposed solution are indicated. With the use of the developed system, the nature of projects in the State Program for Innovative Development of the Republic of Belarus for 20011–2015 was evaluated. The Ministry of Energy is pointed as the state customer of the most resource-intensive use projects and technologies. Thus, it is shown that the proposed automated information system for recording the availability and use of natural resources makes it possible to collect, store, analyze and display the subject information, and is an actual basis for supporting the adoption of management decisions in the field of natural resources management and environmental protection. The obtained results were used by the State Committee for Science and Technology for the evaluation of projects as part of the State Program of Innovative Development of the Republic of Belarus for 2011–2015 for the sake of natural resources cost-effectiveness.

Keywords: *natural resources, cadastres, automated system, innovative production*



Рыбак Виктор Александрович

Ул. П. Бровки 14, 120, Минск 220013, Беларусь

Тел. +375 29 677 43 38; БНТУ, доцент кафедры «Информационных систем и технологий», кандидат технических наук

Rybak V. A. Research interests: decision support systems including artificial intelligence. E-mail: 6774338@tut.by



Шокр Ахмад

Ул. Ф. Скорины 25/3, учебный корпус 20, Минск 220114, Беларусь БНТУ, аспирант кафедры «Информационных систем и технологий»

Shokr Ahmad. Research interests: decision support system for industrial projects

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

INFORMATION SECURITY

УДК 681.3.06

¹А. В. СОКОЛОВ, ²О. Н. ЖДАНОВ

НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ НИБЕРГ НАД ИЗОМОРФНЫМИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯМИ ПОЛЕЙ ГАЛУА

¹ Одесский национальный политехнический университет² Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. академика М. Ф. Решетнева

Дальнейшее развитие криптографических алгоритмов, основанных на принципах многозначной логики, требует более тщательного изучения недвоичных криптографических примитивов – S -блоков. Одной из перспективных конструкций для синтеза S -блоков является конструкция Ниберг, обеспечивающая высокое качество конструируемых S -блоков в двоичном случае. Недостатком конструкции Ниберг являются малые мощности конструируемых классов S -блоков. Тем не менее, данный недостаток удастся преодолеть за счет рассмотрения всех изоморфных представлений основного поля, существенно расширив выбор доступных высококачественных S -блоков. Проведенные в настоящей статье исследования показали, что преимущества конструкции Ниберг могут быть легко перенесены на многозначный случай. Так, в работе построены полные множества S -блоков конструкции Ниберг над всеми изоморфными представлениями полей $GF(p^k)$, $p = 3, 5$ и исследованы их нелинейные характеристики. В качестве критерия нелинейности выбран метод, основанный на измерении расстояния нелинейности: расстояния от компонентных функций многозначной логики до множества функций Виленкина-Крестенсона, являющихся наиболее линейными. Рассчитаны также коэффициенты корреляции векторов выхода и входа полученных S -блоков. Проведенные исследования показали высокое качество построенных криптографических примитивов и позволяют рекомендовать их к использованию в криптоалгоритмах, основанных на принципах многозначной логики.

Ключевые слова: S -блок, конструкция Ниберг, многозначная логика.

Введение

Стремительное развитие криптографических методов шифрования информации и их повсеместное распространение диктует необходимость дальнейшего развития общей теории криптографии, в частности, синтеза новых криптографических примитивов для увеличения эффективности современных шифров.

Одним из важнейших элементов блочного симметричного алгоритма шифрования является S -блок, его качество во многом определяет качество и быстродействие самого шифра. Более того, в некоторых алгоритмах шифрования, например, в ГОСТ 28147-89, который является достаточно актуальным и по сей день, S -блок является элементом ключевой информации.

Гибкий подход к выбору S -блоков имеет достаточно большое количество преимуществ, в частности, возможности дальнейшего улучшения и совершенствования криптоалгоритма,

а также реализации концепции оперативной смены ключа.

Существование криптоалгоритмов с гибким подходом к выбору ключевой информации, а также активная разработка новых криптоалгоритмов требуют дальнейшего совершенствования существующих методов синтеза S -блоков и разработки новых.

Более того, развитие принципов многозначной логики, а также их адаптация к работе на двоичных вычислительных машинах, в последнее время привела к стремительному развитию недвоичной теории помехоустойчивого кодирования, недвоичной теории сигналов и недвоичных алгоритмов шифрования [1–3]. Конструирование недвоичных криптографических примитивов помимо высокой практической ценности также ведет к более глубокому пониманию принципов их работы и тем самым к дальнейшему развитию теоретической криптографии.

В настоящее время известны методы синтеза оптимальных недвоичных S -блоков, основанные на схеме Кима [4]. Тем не менее, данные S -блоки являются оптимальными только по критерию минимума коэффициентов корреляции векторов выхода и входа, тогда как их нелинейные характеристики весьма посредственны.

С другой стороны, известен метод синтеза двоичных S -блоков конструкции Ниберга над всеми изоморфными представлениями полей $GF(2^k)$, позволяющий получить большие множества подстановочных конструкций со сбалансированным уровнем криптографического качества [5].

Целью настоящей статьи является обобщение конструкции Ниберга на все изоморфные представления полей Галуа $GF(p^k)$, $p = 3, 5$.

Конструкция Ниберга и её свойства

Оригинальная конструкция Ниберга представляет собой отображение, задаваемое мультипликативно обратными элементами поля Галуа $GF(2^k)$:

$$y = x^{-1} \text{ modd}[f(z), p], \quad y, x \in GF(2^k), \quad (1)$$

скомбинированное вместе с аффинным преобразованием

$$b = Ay + a, \quad a, b \in GF(2^k), \quad (2)$$

где $f(z)$ – неприводимый над полем $GF(2)$ полином степени k ; $0^{-1} \equiv 0$ – по определению; A – невырожденная матрица аффинного преобразования; a – вектор сдвига; $p = 2$ – характеристика расширенного поля Галуа; a, b, x, y – элементы расширенного поля Галуа $GF(2^k)$; мы можем их трактовать как десятичные числа, либо двоичные векторы, либо полиномы степени $k - 1$.

Структура S -блока во многом зависит от вида используемого неприводимого полинома $f(z)$, а количество неприводимых полиномов определяет мощность класса S -блоков конструкции Ниберга. Известно, что количество $|W_k|$ неприводимых над полем $GF(q)$ полиномов степени k , а также количество $|V_k|$ существующих среди них первообразных полиномов вычисляются по формулам

$$|W_k| = \frac{1}{k} \sum_{d|k} \mu(d) q^{(k/d)}, \quad |V_k| = \frac{\varphi(q^k - 1)}{k}, \quad (3)$$

где d – делители числа k , $\mu(d)$ – функция Мёбиуса, а запись d/k означает, что d делит k , φ – функция Эйлера.

Выбор аффинного преобразования является отдельной задачей, решаемой в зависимости от структуры S -блока и конкретных свойств, которые разработчики хотят получить с помощью аффинного преобразования, например, увеличение периода возврата S -блока в исходное состояние, уменьшение корреляционной связи выхода и входа, улучшение дифференциальных свойств S -блока [6]. Задача выбора аффинного преобразования выходит за пределы проведенного исследования и в данной статье авторами не рассматривается.

В целом, S -блоки конструкции Ниберга обладают высоким расстоянием нелинейности, хорошими корреляционными и дифференциальными свойствами.

Таким образом, S -блоки конструкции Ниберга идеально подходят для применения в криптоалгоритмах, основанных на принципах многозначной логики. Соответственно, актуальной является задача конструирования их множеств и подробного изучения их криптографических свойств.

Одним из немногих недостатков конструкции Ниберга является малое количество S -блоков, которое может быть получено таким методом. В полях $GF(2^k)$ данный недостаток удалось устранить путем рассмотрения всех изоморфных представлений поля, при этом криптографические свойства построенных S -блоков остаются стабильными. Исследования, проведенные в данной статье, показывают, что такой подход может быть распространен и на поля нечетной характеристики.

Изоморфные представления основного поля $GF(3^k)$

Как хорошо известно, поля $GF(3^k)$ тоже можно представить в виде различных изоморфных представлений. В настоящей работе рассмотрены поля $GF(3^k)$ и все их изоморфные представления для значений $k = 2-7$, что отражает практически ценные длины S -блоков. С учетом новых видов представления основного поля $GF(3^k)$ выражение (1) принимает вид

$$y = x^{-1} \text{ moddd}[f_1(z), f_2(z), p], \quad y, x \in GF(3^k), \quad (4)$$

где $f_1(z)$ – неприводимый полином, определяющий операцию мультипликативного обращения в поле «нижнего уровня» $GF(q)$, $f_2(z)$ – в поле «верхнего уровня», т. е. расширении поля $GF(q^k)$.

Различные представления основного поля $GF(3^k)$, а также количества неприводимых и первообразных полиномов, существующих в данных полях, приведены в табл. 1.

Неприводимые и первообразные полиномы для полей $GF(3^k)$ можно найти в работе [7], тогда как нахождение полиномов для полей $GF(9^k)$ и $GF(27^k)$ представляет собой весьма интересную задачу, которая может быть решена с использованием метода [8]. Найденные

неприводимые полиномы над $GF(9)$ приведены в табл. 2

Исследование криптографического качества построенных S-блоков

Одним из важнейших критериев криптографического качества подстановочных конструкций является их расстояние нелинейности, которое в двоичном случае измеряется как расстояние Хэмминга между компонентными функциями S-блока и всеми кодовыми словами аффинного кода.

Определение. Аффинной называется функция аналитического вида

Таблица 1. Мощности множеств неприводимых и первообразных полиномов над полями $GF(3^k)$

Основное поле	Возможные изоморфные представления	Количество неприводимых полиномов	Количество первообразных полиномов	Общее количество S-блоков
$GF(3^2)$	$GF(3^2)$	3	2	3
$GF(3^3)$	$GF(3^3)$	8	4	8
$GF(3^4)$	$GF(3^4) \Rightarrow GF(9^2)$	$18 \Rightarrow 36$	$8 \Rightarrow 16$	54
$GF(3^5)$	$GF(3^5)$	48	22	48
$GF(3^6)$	$GF(3^6), GF(9^3), GF(27^2)$	$116 \Rightarrow 240 \Rightarrow 351$	$48 \Rightarrow 96 \Rightarrow 144$	2000

Таблица 2. Неприводимые и первообразные полиномы

Поле	Полином $f_1(z)$	Полиномы $f_2(z)$
$GF(9^2)$	$f_1(z) = x^2 + x + 2$	84,86,87,88,93,94,97,98,102,103,106,107,109,110,114,115,121,122,123,125,127,128,129,131,136,137,141,142,145,146,147,149,157,158,159,161
	$f_1(z) = x^2 + 2x + 2$	84,85,87,89,94,95,96,97,103,104,105,106,109,110,111,112,118,119,123,125,129,131,133,134,136,137,138,139,147,149,151,152,154,155,159,161
$GF(9^3)$	$f_1(z) = x^2 + x + 2$	741,742,743,744,745,746,748,749,750,752,753,754,766,767,768,769,771,773,802,803,805,806,808,809,812,814,818,821,823,827,829,831,835,838,842,845,848,851,853,856,858,862,865,867,871,874,877,879,884,885,888,892,895,899,901,904,908,911,914,915,920,922,925,928,932,934,938,941,942,947,950,951,956,957,962,964,966,969,975,977,978,982,983,986,994,995,998,1001,1006,1007,1011,1013,1014,1019,1024,1025,1027,1032,1033,1038,1039,1042,1046,1051,1052,1054,1055,1057,1065,1067,1070,1072,1073,1075,1083,1085,1088,1093,1094,1096,1099,1105,1106,1109,1113,1115,1119,1121,1124,1128,1129,1131,1137,1139,1141,1144,1145,1146,1155,1156,1160,1165,1166,1167,1171,1176,1178,1181,1185,1186,1189,1194,1196,1198,1203,1205,1209,1211,1213,1218,1221,1222,1225,1226,1231,1237,1240,1241,1243,1246,1247,1254,1257,1258,1261,1264,1265,1271,1272,1274,1283,1284,1286,1288,1291,1292,1301,1302,1303,1306,1307,1311,1318,1320,1322,1326,1330,1331,1334,1335,1336,1342,1344,1346,1352,1353,1354,1361,1362,1363,1373,1374,1375,1378,1379,1385,1390,1392,1393,1396,1397,1403,1408,1410,1411,1418,1420,1421,1424,1426,1427,1432,1434,1435,1444,1446,1447,1452,1455,1457
	$f_1(z) = x^2 + 2x + 2$	741,742,743,744,745,746,748,749,750,751,753,755,775,776,778,779,781,782,793,794,795,797,798,799,812,815,817,821,824,826,829,832,834,838,841,843,847,849,853,857,858,861,865,869,872,875,877,881,883,886,888,892,896,898,901,905,907,911,912,917,920,921,926,929,932,933,937,939,942,947,949,952,955,958,962,965,966,971,975,976,978,982,983,985,994,995,997,1001,1005,1007,1011,1013,1016,1018,1024,1025,1027,1033,1034,1038,1039,1041,1045,1051,1052,1056,1057,1061,1063,1064,1065,1074,1076,1078,1082,1086,1087,1091,1095,1096,1101,1102,1106,1111,1112,1113,1118,1122,1123,1126,1131,1133,1135,1136,1139,1146,1147,1150,1153,1154,1157,1162,1167,1168,1173,1174,1177,1182,1184,1185,1191,1192,1195,1201,1202,1205,1208,1213,1214,1218,1221,1223,1225,1226,1232,1238,1240,1241,1243,1245,1246,1255,1257,1258,1262,1264,1265,1271,1273,1274,1281,1284,1286,1289,1291,1292,1297,1298,1303,1310,1311,1313,1315,1316,1321,1325,1326,1328,1337,1338,1340,1344,1347,1348,1355,1356,1358,1363,1366,1367,1369,1372,1373,1381,1383,1385,1387,1388,1392,1400,1401,1402,1405,1407,1409,1414,1416,1418,1426,1428,1430,1434,1438,1439,1441,1443,1445,1451,1452,1453

$$\begin{aligned} \varphi(x_0, \dots, x_{k-1}) &= a_0 x_0 + a_1 x_1 + \dots \\ &+ a_{k-1} x_{k-1} + b(\bmod p) = \sum_{i=0}^{k-1} a_i x_i + b(\bmod p), \end{aligned} \quad (5)$$

где $a_0, a_1, \dots, a_{k-1}, b \in \{0, 1, \dots, p-1\}$.

Задача определения расстояния нелинейности для S -блоков подстановки многозначной логики является более сложной в виду их более сложной и многогранной природы.

Существенный прогресс в этом направлении был достигнут в работе [10], за счет использования коэффициентов нелинейности. Изложим кратко суть данного метода.

Пусть, например, задана произвольная 3-функция длины $N = 9$ в виде своей таблицы истинности

$$A = \{e^{2j\pi/3} e^{j0} e^{4j\pi/3} e^{2j\pi/3} e^{j0} e^{4j\pi/3} e^{2j\pi/3} e^{j0} e^{4j\pi/3}\}, \quad (6)$$

мы можем найти её спектральные коэффициенты Виленкина-Крестенсона

$$\Omega_A = A\bar{V}_9 = \{0 \ 0 \ 9e^{2j\pi/3} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0\}. \quad (7)$$

Поскольку полный троичный код может быть рассмотрен как линейное векторное пространство, в котором функции Виленкина-Крестенсона являются ортонормированным базисом, для преобразования Виленкина-Крестенсона справедливо равенство Парсеваля

$$\sum_{\omega=1}^N |\Omega(\omega)|^2 = 3^{2k}, \quad (8)$$

где k – количество переменных, от которых зависит эквивалентная 3-функция, $k = \log_3 N$ и $k = n = \sqrt{N}$ для троичных бент-функций.

Минимальное же значение коэффициентов преобразования Виленкина-Крестенсона достигается тогда, когда их значения постоянны по модулю и равны

$$|\Omega(\omega)| = \sqrt{\frac{3^{2k}}{3^k}} = 3^{k/2}, \quad \omega = 0, 1, \dots, N-1. \quad (9)$$

Таким образом, нелинейность функций q -значной логики оценивается как разность между максимально возможным значением модуля коэффициента преобразования Виленкина-Крестенсона и максимальным значением (по модулю) преобразования Виленкина-Крестенсона исследуемой функции

$$NL = \begin{cases} q^k - \max\{|\Omega|\}, & q > 2; \\ 2^{k-1} - \frac{1}{2} \max\{|W|\}, & q = 2. \end{cases} \quad (10)$$

С другой стороны, в работе [4], посвященной синтезу троичных S -блоков оптимальных по критерию корреляции между векторами выхода и входа для оценки степени взаимосвязи векторов данных, предложено использовать обобщенную формулу для вычисления коэффициента корреляции

$$\begin{aligned} \Psi_{v,\mu} &= \frac{\sum_{t=1}^N x_{v,t} y_{\mu,t} - \frac{\sum_{t=1}^N x_{v,t} \sum_{t=1}^N y_{\mu,t}}{N}}{\sqrt{\left[\sum_{t=1}^N x_{v,t}^2 - \frac{\left(\sum_{t=1}^N x_{v,t}\right)^2}{N} \right] \left[\sum_{t=1}^N y_{\mu,t}^2 - \frac{\left(\sum_{t=1}^N y_{\mu,t}\right)^2}{N} \right]}}, \\ v, \mu &= 1, 2, \dots, k, \end{aligned} \quad (11)$$

где μ, v – номера компонентных булевых функций исследуемого S -блока и тривиальной подстановки $0, 1, \dots, N-1$; $k = \log_p N$ – количество компонентных булевых функций.

Для проведения сравнительного анализа S -блоков удобно использовать коэффициент корреляционной связи векторов выхода и входа, определяемый как максимум среди модулей элементов матрицы $\rho = \max |\Psi_{v,\mu}|$.

Приведем пример исследования нелинейных свойств S -блока подстановки длины $N = 81$. Построим S -блок над полем $GF(9^2)$ на основе (4) и полиномов $f_1(z) = x^2 + x + 2, f_2(z) = 107_{10} = x^2 + 2x + 8$, который представим в виде Q -последовательности

$$Q = \{0 \ 1 \ 2 \ 5 \ 8 \ 3 \ 7 \ 6 \ 4 \ 37 \ 49 \ 21 \ 67 \ 59 \ 65 \ 19 \ 50 \ 36 \ 74 \ 15 \ 71 \ 11 \ 72 \ 70 \ 53 \ 46 \ 34 \ 32 \ 43 \ 80 \ 75 \ 39 \ 27 \ 64 \ 26 \ 68 \ 17 \ 9 \ 69 \ 31 \ 55 \ 44 \ 60 \ 28 \ 41 \ 66 \ 25 \ 57 \ 73 \ 10 \ 16 \ 63 \ 58 \ 24 \ 61 \ 40 \ 77 \ 47 \ 52 \ 13 \ 42 \ 54 \ 78 \ 51 \ 33 \ 14 \ 45 \ 12 \ 35 \ 38 \ 23 \ 20 \ 22 \ 48 \ 18 \ 30 \ 79 \ 56 \ 62 \ 76 \ 29\}. \quad (12)$$

Представим S -блок подстановки (12) в виде компонентных 3-функций

$$f_1 = \{00000000011022201120202211111221120200212121120220022021211012211010100010122221\};$$

$$\begin{aligned}
f_2 &= \{00000000012210122121112122001221012 \\
&\quad 111100100112021110201222110220121012222 \\
&\quad 020020\}; \\
f_3 &= \{00012122101111001002200220212211002 \\
&\quad 1202102201121002012211021202221012010110 \\
&\quad 120210\}; \\
f_4 &= \{01222010111012212020220121121200012 \\
&\quad 2200112012010111010112211000002002222100 \\
&\quad 012212\}.
\end{aligned}
\tag{13}$$

Для каждой из 3-функций найдем коэффициенты преобразования Виленкина-Крестенсона. Например, модули спектральных коэффициентов преобразования Виленкина-Крестенсона первой компонентной 3-функции имеют вид

$$\begin{aligned}
S_1 &= \{0 \ 9 \ 0 \ 3 \ 6 \ 12 \ 6 \ 12 \ 6 \ 15 \ 3 \ 6 \ 9 \ 9 \ 9 \\
&\quad 15 \ 12 \ 3 \ 6 \ 6 \ 3 \ 3 \ 3 \ 12 \ 9 \ 9 \ 0 \ 3 \ 3 \ 6 \ 12 \ 6 \\
&\quad 3 \ 9 \ 9 \ 9 \ 18 \ 9 \ 9 \ 12 \ 3 \ 3 \ 3 \ 3 \ 15 \ 15 \ 15 \ 3 \ (14) \\
&\quad 9 \ 0 \ 9 \ 3 \ 3 \ 3 \ 15 \ 6 \ 15 \ 9 \ 9 \ 9 \ 12 \ 15 \ 6 \ 3 \ 3 \\
&\quad 3 \ 6 \ 15 \ 6 \ 9 \ 9 \ 9 \ 18 \ 0 \ 9 \ 15 \ 3 \ 15 \ 12 \ 6 \ 3\}.
\end{aligned}$$

Для S -блока (12) максимум модуля по всем спектральным коэффициентам равен $L = \max \{S\} = 18$, таким образом, можем вычислить коэффициент нелинейности по формуле $NL = q^k - \max \{|S|\} = 3^4 - 18 = 63$, что является неплохим результатом. Для сравнения, для дан-

ной длины коэффициент нелинейности бент-функций равен $NL_{\max} = 3^4 - \sqrt{3^4} = 72$.

В табл. 3 представлены результаты расчета коэффициентов нелинейности NL , а также максимумов коэффициентов корреляции векторов выхода и входа ρ троичных S -блоков конструкции Ниберг над различными изоморфными представлениями полей $GF(3^k)$.

Важно заметить, что коэффициенты корреляции могут различаться и для разных представлений одного поля.

Случай характеристики 5

Основные поля для практически ценных значений k также имеют различные свои изоморфные представления (табл. 4), где рядом указаны количества неприводимых и первообразных неприводимых полиномов.

Для того, чтобы оценить криптографические характеристики S -блоков подстановки конструкции Ниберг, основанных на принципах 5-логики, необходимо построить таблицы (табл. 5) первообразных (выделены жирным шрифтом) и неприводимых полиномов для расширенных полей $GF(5^k)$, для чего воспользуемся алгоритмом [8].

Основываясь на приведенных полиномах и методе построения S -блоков подстановки конструкции Ниберг, можем оценить их крип-

Т а б л и ц а 3. Качество S -блоков конструкции Ниберг над полями $GF(3^k)$

Поле	Изоморфное представление		NL	ρ
$GF(3^2)$	$GF(3^2)$		3	0.8333
$GF(9^3)$	$GF(3^3)$		18	0.2222–0.3333
$GF(3^4)$	$GF(3^4)$		63	0.1667–0.3333
	$GF(9^2)$		63	0.2037–0.3333
$GF(3^5)$	$GF(3^5)$		213	0.0617–0.1543
$GF(3^6)$	$GF(3^6)$		675	0.0453–0.0986
	$GF(9^3)$	Полином $GF(9)x^2 + x + 2$	675	0.0432–0.0967
		Полином $GF(9)x^2 + 2x + 2$	675	0.0514–0.0967
	$GF(27^2)$	Полином $GF(27)x^3 + 2x + 1$	675	0.0885–0.0967
		Полином $GF(27)x^3 + x^2 + 2x + 1$	675	0.0761–0.0967
		Полином $GF(27)x^3 + 2x^2 + 1$	675	0.0885–0.0967
		Полином $GF(27)x^3 + 2x^2 + x + 1$	675	0.0761–0.0967

Т а б л и ц а 4. Мощности множеств неприводимых и первообразных полиномов над полями $GF(5^k)$

Основное поле	Возможные изоморфные представления	Количество неприводимых полиномов	Количество первообразных полиномов	Общее количество S -блоков конструкции Ниберг
$GF(5^2)$	$GF(5^2)$	10	4	10
$GF(5^3)$	$GF(5^3)$	40	20	40
$GF(5^4)$	$GF(5^4) \Rightarrow GF(25^2)$	$150 \Rightarrow 300$	$48 \Rightarrow 96$	1350

Т а б л и ц а 5. Неприводимые и первообразные полиномы над полем $GF(5)$

Поле	Полиномы
$GF(5^2)$	27,28,31, 32,38,39,43,44,46,47
$GF(5^3)$	131,134,136,139, 142,143,147,148 ,151, 152,158 ,159,166,169,171, 173,176,178,183 ,184, 187,188,197 ,199, 202,204 ,206, 207,212,213,221,223,228,229,231,232,241,244,247,249
$GF(5^4)$	627,628,634,639,644,649,652,656, 662,663,667,668 ,671,678,686,688,691,693,703,706,708,721,723,727, 732,733 ,736,741, 747,748 ,754, 758,763,764,767,771,772,776,783,784,789,793,797,802,807,808 ,811,812,819,824,826, 828 ,836, 847 ,849,852,856,859,871, 873,879,883,884,886,887,893,897,902,911,913,916,919,926,928,931,937,939,952 ,956,957,964, 967,968,974,976,984,987,993,994,998,1004,1007,1013 ,1016, 1017,1023 ,1024,1027,1036,1039,1041, 1043 ,1051, 1053,1067 ,1069,1071, 1077,1084,1087 ,1088,1094,1096,1097,1101,1108, 1113 ,1114,1117,1124,1129,1131, 1132,1137,1143 ,1144, 1148 ,1151,1157,1163,1169, 1173,1174,1177,1184,1189,1191,1192,1197,1198,1201,1203,1207,1209,1216,1227,1231,1233,1246,1249

Т а б л и ц а 6. Качество S -блоков конструкции Ниберг над полями $GF(5^k)$

Изоморфное представление			NL	ρ
$GF(5^2)$			14.1459	0.28–0.72
$GF(5^3)$			103.8197	0.048–0.24
$GF(5^4)$	$GF(5^4)$		574.2229	0.0368–0.3869
	$GF(25^2)$	Полином $GF(25)x^2 + x + 2$	574.2229	0.0768–0.1384
		Полином $GF(25)x^2 + 2x + 3$	574.2229	0.0768–0.1384
		Полином $GF(25)x^2 + 3x + 3$	574.2229	0.0768–0.1384
		Полином $GF(25)x^2 + 4x + 2$	574.2229	0.0768–0.1384

тографическое качество в соответствии с изложенной выше методикой.

Таким образом, качество S -блоков подстановки конструкции Ниберг над всеми изоморфными представлениями полей $GF(5^k)$ также является высоким и стабильным с точки зрения нелинейности.

Заключение

1. В статье построены полные множества S -блоков подстановки над всеми изоморфными представлениями полей $GF(p^k)$, $p = 3, 5$. Относительно построенных множеств S -блоков проведены исследования нелинейности на основе коэффициентов преобразования Вилленкина-Крестенсона и коэффициентов корреляции выхода и входа. Проведенные исследования показали высокое качество полученных

S -блоков и относительную стабильность их характеристик.

2. Построены и табулированы полные множества неприводимых и первообразных полиномов над полем $GF(5)$ до четвертой степени включительно, которые могут быть использованы не только для построения S -блоков, но также и для построения генераторов псевдослучайных ключевых последовательностей.

3. Построенные S -блоки в силу своего высокого качества могут быть рекомендованы к использованию в новейших криптографических алгоритмах, основанных на принципах многозначной логики.

4. Построение аналогичных конструкций полей характеристики больше 5 не представляет затруднений, однако, является, на наш взгляд, менее актуальным в аспекте применений.

Литература

1. Zhdanov O. N. Block symmetric cryptographic algorithm based on principles of variable block length and many-valued logic / O. N. Zhdanov, A. V. Sokolov. – Far East Journal of Electronics and Communications, 2016. – Vol. 16. – No. 3. – P. 573–589.
2. Кузнецов, В. С. Троичные каскадные коды с модуляцией кам-9 и их возможности / В. С. Кузнецов. – «Инфо-Электросвязь», 2009. – С. 30–33.
3. Петелин, Ю. В. Перспективы использования сигнально-кодовых конструкций типа троичных М-последовательностей в спутниковых каналах связи / Ю. В. Петелин, М. А. Ковалев, А. А. Макаров // Информационно-управляющие системы. – 2006. – № 5. – С. 32–35.
4. Жданов, О. Н. Алгоритм построения оптимальных по критерию нулевой корреляции двоичных блоков замен / О. Н. Жданов, А. В. Соколов. – Проблемы физики, математики и техники, 2015. – № 3(24). – С. 94–97.
5. Мазурков, М. И. Нелинейные преобразования на основе полных классов изоморфных и автоморфных представлений поля $GF(256)$ / М. И. Мазурков, А. В. Соколов // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2013. – Т. 56, N 11. – С. 16–24.

6. Мазурков, М. И. Нелинейные S-блоки конструкции Ниберга с максимальным лавинным эффектом / М. И. Мазурков, А. В. Соколов // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2014. – Т. 57, № 6. – С. 47–55.
7. Соколов, А. В. Генератор псевдослучайных ключевых последовательностей на основе тройственных наборов бент-функций / А. В. Соколов, О. Н. Жданов, Н. А. Барабанов. – Проблемы физики, математики и техники, 2016. – № 1 (26). – С. 85–91.
8. Мазурков, М. И. Конструктивный способ построения первообразных неприводимых полиномов над простыми полями Галуа / М. И. Мазурков // Радиоэлектроника. – 1999. – № 2. – С. 41–45. (Изв. вузов).
9. Юровских, Д. А. Полторабайтные нелинейные преобразования конструкции Ниберга / Д. А. Юровских, А. В. Соколов, Б. С. Троицкий. – Информатика и математические методы в моделировании. – 2016. – Т. 6. – № 2. – С. 142–148.
10. Sokolov, A. V. Regular synthesis method of a complete class of ternary bent-sequences and their nonlinear properties / A. V. Sokolov, O. N. Zhdanov. – Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. – VOL 8. – No 9. – P. 39–43.

References

1. Zhdanov O. N. Block symmetric cryptographic algorithm based on principles of variable block length and many-valued logic / O. N. Zhdanov, A. V. Sokolov. – Far East Journal of Electronics and Communications, 2016. – Vol. 16. – No 3. – P. 573–589.
2. Kuznetsov, V. S. Ternary cascade codes with QAM-9 modulation and their possibilities / V. S. Kuznetsov. – «Info-Electrosvyaz», 2009. – P. 30–33.
3. Petelin, Yu. V. Prospects of the use of signal-code constructions of the type of ternary M-sequences in satellite communication channels / Yu. V. Petelin, M. A. Kovalev, A. A. Makarov // Information-control systems. – 2006. – No 5. – P. 32–35.
4. Zhdanov, O. N. Algorithm of construction of optimal according to criterion of zero correlation nonbinary S-boxes / O. N. Zhdanov, A. V. Sokolov. – Problems of physics, mathematics and technics, 2015. – No 3 (24). – P. 94–97.
5. Mazurkov, M. I. Nonlinear transformations based on complete classes of isomorphic and automorphic representations of field GF(256) / M. I. Mazurkov, A. V. Sokolov // Radioelectronics and Communications Systems. – 2013. – Vol. 56, No 11. – P. 513–521.
6. Mazurkov, M. I. Non-linear S-box of Nyberg construction with maximal avalanche effect / M. I. Mazurkov, A. V. Sokolov // Radioelectronics and Communications Systems. – 2014. – Vol. 57, No 6. – P. 274–281.
7. Sokolov, A. V. Pseudo-random key sequence generator based on triple sets of bent-functions / A. V. Sokolov, O. N. Zhdanov, N. A. Barabanov. – Problems of physics, mathematics and technics, 2016. – No. 1 (26). – P. 85–91.
8. Mazurkov M. I. A constructive method for constructing of primitive irreducible polynomials over simple Galois fields / Mazurkov // Radioelectronics. – 1999. – No 2. – P. 41–45.
9. Yurovskikh, D. A. Niberg construction 12 bit nonlinear transforms / D. A. Yurovsky, A. V. Sokolov, B. S. Troitsky. – Informatics and mathematical methods in modeling. – 2016. – Т. 6. – No 2. – P. 142–148.
10. Sokolov, A. V. Regular synthesis method of a complete class of ternary bent-sequences and their nonlinear properties / A. V. Sokolov, O. N. Zhdanov. – Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. – VOL 8. – No 9. – P. 39–43.

Поступила
30.05.2017

После доработки
06.06.2017

Принята к печати
10.09.2017

Zhdanov O. N., Sokolov A. V.

NONLINEAR NYBERG CONSTRUCTION TRANSFORMS OVER ISOMORPHIC REPRESENTATIONS OF FIELDS GALOIS

Further development of cryptographic algorithms based on the principles of many-valued logic requires more accurate research of non-binary cryptographic primitives – S-boxes. One of the most promising constructions for the synthesis of S-boxes is the Nyberg construction, which ensures high quality of the designed S-boxes in the binary case. The disadvantage of the Nyberg construction is the small cardinality of the classes of the constructed S-boxes. Nevertheless, this disadvantage can be overcome by considering all the isomorphic representations of the main field, substantially expanding the choice of available high-quality S-boxes. The research carried out in this paper has shown that the advantages of the Nyberg construction can be easily transferred to a many-valued case. Thus, we construct complete sets of S-boxes of the Nyberg construction over all isomorphic representations of fields $GF(p^k)$, $p = 3, 5$, and research their nonlinear characteristics. As a criterion of nonlinearity, we measure the distances from the component many-valued functions to the set of Vilenkin–Chrestenson functions that are considered to be the most linear. The correlation coefficients of the output and input vectors of the obtained S-boxes are calculated. The researches performed have shown the high quality of the constructed cryptographic primitives and allow recommendation of them for use in cryptosystems based on the principles of many-valued logic.

Keywords: S-box, Nyberg construction, many-valued logic.



Артем Соколов родился 15 апреля 1990 года в Одессе, УССР. Получил степень бакалавра (с отличием) по специальности «Системы технической защиты информации» в 2011 году, степень магистра (с отличием) по специальности «Системы технической защиты информации, автоматизация её обработки» в 2013 году и степень кандидата технических наук по специальности «Системы защиты информации» в 2014 году в Одесском национальном политехническом университете, г. Одесса, Украина.

С 2012 по 2014 работал младшим научным сотрудником кафедры Информационной безопасности в Одесском национальном политехническом университете. С 2014 года является старшим преподавателем кафедры Информационной безопасности, с 2016 – кафедры Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Одесского национального политехнического университета. Является автором монографии и более 70 научных публикаций. Научные интересы включают в себя методы защиты информации на основе совершенных алгебраических конструкций, методы синтеза алгоритмов шифрования данных и нелинейных S -блоков.

Артем Соколов награжден Золотой медалью за высокие достижения в учебе, Дипломом победителя в конкурсе Магистров, 2013 год; Дипломом победителя Всеукраинского конкурса научно-исследовательских работ «Телекоммуникационные системы и сети», 2012 год; Дипломом за высокие академические и исследовательские достижения, 2010 год.

Artem V. Sokolov was born in Odessa, USSR, in 1990. He received a Bachelor (Hons) degree in systems of technical data protection in 2011, Master (Hons) degree in systems of technical data protection and automation of it's processing in 2013 and Ph. D. degree in data protection systems in 2014 from Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine.

From 2012 to 2014 he was a Junior Researcher of the Data Security department in Odessa National Polytechnic University. Since 2014 he has been a Senior Lecturer of the Data Security Department in Odessa National Polytechnic University and since 2016 is a Senior Lecturer of the Radioelectronic and telecommunication systems. He is the author of a book and more than 70 articles. His research interests include data protection methods based on perfect algebraic constructions, nonlinear S -box synthesis method, and stream encryption algorithms.

A. V. Sokolov awards and honors include: Gold medal for high achievements in education, Hons Diploma of Winner in Master Competition, 2013; winner of «Information and communication networks» Ukrainian competition of research papers, 2012; Diploma for excellent academic and research activities, 2010.



Жданов Олег Николаевич родился 16 апреля 1964 года. В 1986 году окончил Красноярский Государственный Университет. Кандидатская диссертация по специальности «математический анализ» защищена в 1994 году. В настоящее время доцент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского Государственного Аэрокосмического университета.

Читаемые лекционные курсы: «Криптографические методы защиты информации» (имеется удостоверение Института Криптографии, Связи и Информатики о соответствующем повышении квалификации), «Теоретико-числовые алгоритмы криптографии», «Теория надежности».

Общее количество публикаций 75, из них 7 – учебные пособия (в соавторстве с учениками).

Сфера научных интересов: системы дифференциальных уравнений в частных производных, являющиеся моделями процессов в механике сплошных сред. Получены точные решения уравнений пластичности плоского напряженного состояния, предложен новый подход к исследованию смешанной задачи для системы уравнений плоского напряженного состояния среды Мизеса, построен алгоритм нахождения решения задачи Коши для системы уравнений, описывающей одномерный поток гранулированного материала.

Еще одной областью научных интересов является защита информации: разработка реализации алгоритмов шифрования данных при передаче по открытому каналу с привлечением к этой работе студентов старших курсов для выполнения ими курсового и дипломного проектирования. Совместно с учениками разработал методику выбора ключевой информации для реализации алгоритмов блочного шифрования. Получено авторское свидетельство (совместно с Чалкиным Т. А.) на программный комплекс, реализующий выбор ключевой информации для шифрования данных по действующему стандарту России.

Два ученика стали лауреатами стипендии губернатора Красноярского края, а один – лауреат стипендии Правительства России и победитель конкурса на лучшую студенческую научную работу.

Награжден Благодарственным Письмом Законодательного Собрания Красноярского края. Награжден нагрудным знаком Министерства Образования и Науки РФ «За развитие научно-исследовательской работы студентов».

Zhdanov Oleg Nikolaevich was born on April 16, 1964. He graduated from Krasnoyarsk State University in 1986. The Ph. D. thesis in mathematical analysis was defended in 1994. At the moment O. N. Zhdanov is Associate Professor of Informational Technologies subdepartment of Siberian State Space University and associate professor of Algebra and mathematical logic department of Siberian Federal university.

O. N. Zhdanov gives the following lecture courses: «Cryptographic methods of information security» (there is a certificate of Institute of Cryptography, Communication and Information Sciences of the corresponding advanced training), «Number-theoretic algorithms of cryptography», «Reliability theory».

The total number of his publications – 75. Eight of them are study guides.

Together with pupils, he developed a key information choice method for realization of block encryption algorithms. Together with Chalkin T. A. he received the copyright certificate on the program complex realizing the choice of key information for data encryption according to the current standard of Russia.

O. N. Zhdanov was awarded by a letter of thanks from Legislative Assembly of Krasnoyarsk Krai, a breastplate of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation «For development of students research activity».

УДК 004.272.2 (075.8)

А. А. ПРИХОЖИЙ, О. Н. КАРАСИК

РАЗНОРОДНЫЙ БЛОЧНЫЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА КРАТЧАЙШИХ ПУТЕЙ МЕЖДУ ВСЕМИ ПАРАМИ ВЕРШИН ГРАФА

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается проблема поиска кратчайших путей между всеми парами вершин взвешенного ориентированного графа. Известны алгоритмы Дейкстры и Флойда-Уоршелла, однородные блочные и параллельные алгоритмы и другие алгоритмы решения этой проблемы. Предлагается новый разнородный блочный алгоритм, рассматривающий различные типы блоков и учитывающий разделяемую иерархическую организацию памяти и многоядерность процессоров при вычислении блока каждого типа. На теоретическом и экспериментальном уровнях проводится сравнение предлагаемых разнородных алгоритмов вычисления блоков с общепринятым однородным универсальным алгоритмом пересчета блока. Основной акцент делается на использовании вариантов неоднородности, взаимодействия блоков во время вычислений и вариаций в размере блока, размере матрицы блоков и общего количества блоков с целью выявления возможности сокращения объема вычислений, производимых при расчете блока, сокращения активности работы с кэш памятью процессора и выявления влияния времени расчета каждого типа блока на общее время выполнения разнородного блочного алгоритма. Предложен рекуррентный ресинхронизированный алгоритм расчета диагонального блока (D0), улучшающий использование кэш памяти процессора и сокращающий количество итераций и размер данных, необходимых для расчета диагонального блока до 3 раз, что дает ускорение в расчете диагонального блока до 60%. Для более эффективной работы с кэш памятью предложены варианты перестановки основных циклов $k-i-j$ алгоритмов расчета блоков креста (C1, C2) и обновляемых блоков (U3), использование которых в комбинации с алгоритмом расчета диагонального блока сокращает общее время работы разнородного блочного алгоритма на 13% в среднем по сравнению с однородным блочным алгоритмом.

Ключевые слова: алгоритм Флойда-Уоршелла, кратчайший путь, разнородный блочный алгоритм, многоядерная система, разделяемая кэш память.

Введение

Задача поиска кратчайших путей на взвешенном графе [1–10] формулируется в различных постановках: для ориентированного или неориентированного, разреженного или плотного графа, со взвешенными ребрами и/или взвешенными вершинами, положительными или возможно отрицательными весами, между парой вершин или всеми парами вершин, при обязательном проходе всех вершин (задача коммивояжера) или необязательном проходе и т. д. Вычислительная сложность различных постановок задач различная: поиск кратчайшего пути между парой вершин решается за квадратичное время алгоритмом Дейкстры, поиск кратчайших путей между всеми парами вершин решается за кубическое время алгоритмом Флойда-Уоршелла, поиск кратчайшего пути при обязательном проходе всех вер-

шин полного графа является NP-трудной задачей.

Задача поиска кратчайших путей на графе находит практическое применение при решении многих задач в микроэлектронике, компьютерных сетях и программировании, компьютерных играх, транспортной отрасли и многих других. Размер графов может достигать таких больших размеров, что даже для решения задачи поиска алгоритмами полиномиальной степени сложности может потребоваться нереально большое процессорное время на современной вычислительной технике. Так алгоритм Флойда-Уоршелла, который совершенствуется и развивается в настоящей статье, затрачивает время на поиск, пропорциональное величине 1.25×10^{11} для графа на 5000 вершинах, и практически мало приемлем уже для такого размера графа.

Быстродействие алгоритмов поиска кратчайших путей сильно зависит от вычислительной платформы, на которой они реализуются. Учет архитектурных особенностей вычислительных систем может значительно повысить производительность алгоритмов. К важнейшим особенностям систем относятся многоядерность процессоров, разделяемая кэш память, разнородность на программном и аппаратном уровне.

Алгоритм Флойда-Уоршелла

Пусть ориентированный взвешенный граф $G = (V, E)$ с множеством V из N вершин и множеством ребер E представлен матрицей W положительных весов ребер. Петли и параллельные ребра отсутствуют, при этом $w_{ii} = 0$ при $i = 0 \dots N-1$ и $w_{ij} = \infty$ при $(i, j) \notin E$. Длины кратчайших путей между парами вершин опишем матрицей D . Алгоритм Флойда-Уоршелла [1, 2] пересчитывает матрицу D на шагах $0 \dots k \dots N-1$, при этом образуется последовательность матриц $D(0) \dots D(k) \dots D(N-1)$, в которой $D(0) = W$, $D(k)$ – матрица кратчайших расстояний после нахождения кратчайших путей, проходящих через вершину k , и $D(N-1)$ – результирующая матрица кратчайших расстояний. Переход от шага $k-1$ к шагу k иллюстрируется на рис. 1, при этом кратчайший путь $D_{ij}(k)$ от вершины i до вершины j пересчитывается через матрицу $D(k-1)$ и k -ые строку и столбец матрицы $D(k)$:

$$D_{ij}(k) = \min \{ D_{ij}(k-1), D_{ik}(k) + D_{kj}(k) \} \quad (1)$$

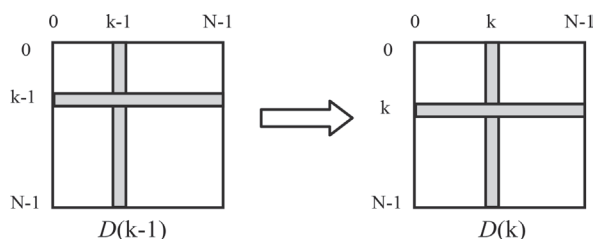


Рис. 1. Иллюстрация работы алгоритма Флойда-Уоршелла

```

Algorithm Floyd_Warshall {
    D = W;
    for k=0...N-1 {
        for i=0...N-1 {
            for j=0...N-1 {
                s = Dik + Dkj;
                if(Dij > s) Dij = s;
            }
        }
    }
}

```

Рис. 2. Псевдокод алгоритма Флойда-Уоршелла

С увеличением k строка и столбец смещаются по матрице $D(k)$ сверху вниз слева направо. Псевдокод алгоритма Флойда-Уоршелла (рис. 2) состоит из трех циклов по i , j и k . На всех шагах он работает с матрицей одинаковой размерности $N \times N$. Алгоритм имеет высокую однородность, а его вычислительная сложность равна $O(N^3)$. Заметим, что перестановка цикла по k с циклами по i и j приводит к неверным результатам.

Однородный блочный алгоритм поиска кратчайших путей на графе

Построение блочного алгоритма поиска кратчайших путей на графе помогает решить две важнейшие проблемы: 1) локализовать работу с многоуровневой памятью и тем самым ускорить выполнение операций записи и чтения из памяти; 2) организовать параллельную многопоточную работу блоков на многоядерной системе. В работах [3, 4] алгоритм Флойда-Уоршелла расширен до блочного алгоритма поиска кратчайших путей на графе, а в работах [5, 6] показаны возможности распараллеливания этого блочного алгоритма. Матрица D размерностью $N \times N$ разбивается на блоки размерностью $B \times B$, при этом образуется матрица блоков размерностью $M \times M$, где $M = N/B$. Псевдокод блочного алгоритма показан на рис. 3. Функционирование блочного алгоритма *Blocked_FW* представляется циклом по блокам $m = 0 \dots M-1$, на каждой итерации которого выполняется упорядоченный однократный пе-

```

Algorithm Blocked_FW {
    for m=0...M-1 {
        CalBlock (Bm,m, Bm,m, Bm,m); // type D0
        for i=0...m-1 {
            CalBlock (Bi,m, Bi,m, Bm,m); // type C1
            CalBlock (Bm,i, Bm,m, Bm,i); // type C2
        };
        for i=m+1...M-1 {
            CalBlock (Bi,m, Bi,m, Bm,m); // type C1
            CalBlock (Bm,i, Bm,m, Bm,i); // type C2
        };
        for i=0...m-1 {
            for j=0...m-1
                CalBlock (Bi,j, Bi,m, Bm,j); // type U3
            for j=m+1...M-1
                CalBlock (Bi,j, Bi,m, Bm,j); // type U3
        };
        for i=m+1...M-1 {
            for j=0...m-1
                CalBlock (Bi,j, Bi,m, Bm,j); // type U3
            for j=m+1...M-1
                CalBlock (Bi,j, Bi,m, Bm,j); // type U3
        };
    }
}

```

Рис. 3. Псевдокод блочного алгоритма

```

Algorithm CalBlock( $B^1, B^2, B^3$ ) {
  for  $k=0 \dots B-1$  {
     $b3^{rk} = \text{row}(B^3, k)$ ;
    for  $i=0 \dots B-1$  {
       $b1^{ri} = \text{row}(B^1, i)$ ;
       $b2 = B^2_{i,k}$ ;
      for  $j=0 \dots B-1$  {
         $b_{ij} = b2 + b3^{rk}_j$ ;
        if ( $b1^{ri}_j > b_{ij}$ ) {  $b1^{ri}_j = b_{ij}$ ; }
      }
    }
  }
}

```

Рис. 4. Алгоритм вычисления блока

решет всех блоков одним и тем же универсальным однородным алгоритмом *CalBlock*, представленным на рис. 4, где аргумент B^1 – вычисляемый блок, а аргументы B^2 и B^3 – блоки, через которые осуществляется вычисление. На M итерациях цикла каждый блок пересчитывается M раз. Алгоритм блока имеет вычислительную сложность $O(B^3)$, которая достаточно быстро растет с увеличением размера блока. Заметим, алгоритм *CalBlock* из-за универсальности трудно поддается преобразованию и модификации.

Процесс работы блочного алгоритма иллюстрируется рис. 5. Тело главного цикла алгоритма можно разбить на три последовательно реализуемых шага. Первый шаг рассчитывает диагональный (D0 – Diagonal) блок $B_{m,m}$. Второй шаг рассчитывает через $B_{m,m}$ блоки, лежащие на кресте (C1 и C2 – Cross), образованном строкой m и столбцом m матрицы блоков с пересечением на блоке $B_{m,m}$. Третий шаг обновляет (U3 – Update) остальные блоки посредством блоков креста. При увеличении m крест перемещается из левого верхнего в правый нижний угол матрицы блоков. На одной итерации цикла по m вычисляется один диагональный блок D, вычисляется $2 \times M - 1$ блоков креста C и вычисляется $M \times (M - 2)$ обновляемых блоков U. Всего выполняется M^3 пересчетов блоков.

Анализ последовательно-параллельного выполнения блоков показывает, что блок типа D0 работает последовательно с остальными блоками, все блоки типа C1 и C2 могут работать взаимно параллельно, все блоки типа U3 могут работать также взаимно параллельно, но последовательно с блоками C1 и C2.

Разнородный блочный алгоритм

Внимательный анализ всех вызовов алгоритма *CalBlock* вычисления блока показывает,

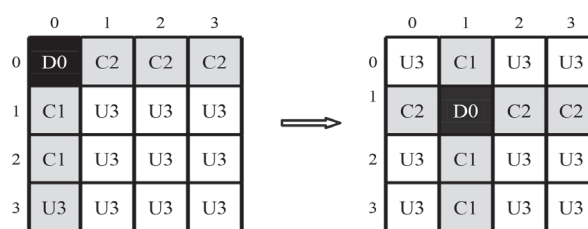


Рис. 5. Иллюстрация процесса вычисления блоков блочным алгоритмом

что в них различаются четыре профиля аргументов B^1, B^2 и B^3 . Профили аргументов тесно взаимосвязаны со спецификой работы самого алгоритма. Тип 0 профиля, когда $B^1 = B^2 = B^3$, встречается только для диагонального блока D0 (рис. 3). Тип 1 профиля, когда $B^1 = B^2 \neq B^3$, встречается для блоков C1 столбца креста. Тип 2 профиля, когда $B^1 = B^3 \neq B^2$, встречается для блоков C2 строки креста. Тип 3 профиля, когда $B^1 \neq B^2 \neq B^3$, встречается для остальных блоков U3. Идентичность или неидентичность аргументов алгоритма вычисления блока и особенности его поведения в каждом случае можно с пользой использовать для поиска методов сокращения вычислительных ресурсов, потребляемых во время выполнения алгоритма. В частности, целью является сокращение активности работы с кэшем, а также сокращение времени вычисления блока. Новые более эффективные алгоритмы вычисления блоков построим путем формальных преобразований исходного алгоритма с учетом особенностей вычисления блока каждого типа.

Новый алгоритм вычисления диагонального блока

В однородном блочном алгоритме все блоки вычисляются на основе классического алгоритма Флойда-Уоршелла (рис. 4) независимо от типа блока. Главный принцип заключается в последовательном рассмотрении вершин k от 0 до $B-1$, ассоциируемых с блоками B^2 и B^3 , с целью сокращения расстояния от вершины i до вершины j , находящегося в блоке B^1 . При вычислении диагонального блока типа D0 блоки B^2 и B^3 идентичны блоку B^1 . Изменим главный принцип алгоритма Флойда-Уоршелла. Последовательность вершин k от 0 до $B-1$ будем ассоциировать с процессом пошагового добавления очередной вершины к графу G' . В результате образуется последовательность

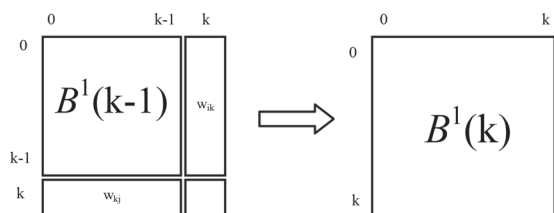


Рис. 6. Рекуррентная процедура вычисления диагонального блока

графов $G'(0), G'(1) \dots G'(k) \dots G'(B-1)$. Матрицу расстояний между парами вершин в графе $G'(k)$ обозначим $B^1(k)$. Представим алгоритм рекуррентной процедурой, вычисляющей матрицу $B^1(k)$ по матрице $B^1(k-1)$ и весам w_{ik} и w_{kj} ребер, соединяющих добавляемую вершину k с вершинами $i, j \in \{1, \dots, k-1\}$ (рис. 6). Сначала процедура вычисляет длины $B^1_{ik}(k)$ в столбце k по формуле

$$B^1_{ik}(k) = \min_{j=1 \dots k-1} (B^1_{ij}(k-1) + w_{jk}). \quad (2)$$

Длины $B^1_{kj}(k)$ в строке k вычисляются по аналогичной формуле. Затем процедура рассчитывает длины $B^1_{ij}(k)$ по длинам $B^1_{ij}(k-1)$ при $i, j = 0, \dots, k-1$, используя формулу

$$B^1_{ij}(k) = \min \{ B^1_{ij}(k-1), B^1_{ik}(k) + B^1_{kj}(k) \}. \quad (3)$$

Рекуррентная процедура циклически выполняется для всех вершин графа G' . На каждой ее итерации поочередно выполняются две операции: добавление A (Adding) новой строки и столбца для вершины k ; обновление U (Updating) матрицы $B^1(k-1)$ до матрицы $B^1(k)$. Выполнение цикла по k порождает последовательность выполнения пар операций A и U :

$$A_0 U_0 - A_1 U_1 - A_2 U_2 - \dots - A_{N-1} U_{N-1}. \quad (4)$$

Псевдокод рекуррентной процедуры *CalBlock_D0* показан на рис. 7. Значения кратчайших путей от вершин $1, \dots, k-1$ до вершины k накапливаются в векторе b^r , а от вершины k до вершин $1, \dots, k-1$ – в векторе b^c . В отличие от классического алгоритма (рис. 3), в модифицированном алгоритме количество итераций самого вложенного цикла и объем обрабатываемых данных сокращаются до трех раз из-за сокращения числа значений индексов i и j . Это является важным источником уменьшения вычислительной сложности нового алгоритма пересчета диагонального блока.

Ресинхронизация рекуррентной процедуры.

Анализ информационных зависимостей между операциями $A_k U_k$ в (4) показывает, что их нельзя совместить во вложенных циклах по i и j . В то же время пара операций $U_k A_{k+1}$ совместима в этих циклах, что предоставляет возможность ресинхронизации последовательности пар операций (4) до последовательности операций

$$U_0 A_1 - U_1 A_2 - \dots - U_{N-2} A_{N-1} - U_{N-1}. \quad (5)$$

В последовательности (5) операция A_0 удалена за счет присваивания нулевого значения матрице $B^1(0)$, которая описывает граф на одной вершине. Ресинхронизация позволяет повысить уровень параллелизма и сократить критические пути в теле вложенных циклов алгоритма. В паре $U_k A_{k+1}$ операция U_k есть отложенное обновление матрицы $B^1(k)$, которое выполняется одновременно с добавлением вершины $k+1$.

Псевдокод ресинхронизированной рекуррентной процедуры *CalBlock_D0R* показан на рис. 8. Ее вызов заменяет первый вызов алгоритма *CalBlock* в алгоритме *Blocked_FW*, показанном на рис. 3. Чтобы выполнить операцию U_k , вычисленные для вершины k строка и столбец матрицы $B^1(k)$ сохраняются в векторах d^r и d^c соответственно. На первой итерации цикла по k значения элементов этих векторов равны ∞ . Значения весов входных для вершины k ребер доступны через вектор w^r , заранее сгенерированный на предыдущей итерации цикла по k . Операция *row*(B^1, k) возвращает строку k матрицы B^1 .

Скалярная переменная $b^r_{\min}$ используется для формирования значения элемента вектора

```

Algorithm CalBlock_D0( $B^1$ ) {
  for  $k=1 \dots B-1$  {
    for  $i=0 \dots k-1$  {  $b^c_i = \infty$ ; }
    for  $i=0 \dots k-1$  { // Adding  $A_k$ 
       $b^r_{\min} = \infty$ ;
      for  $j=0 \dots k-1$  {
         $s' = B^1_{ij} + B^1_{jk}$ ; if( $b^r_{\min} > s'$ )  $b^r_{\min} = s'$ ;
         $s'' = B^1_{ji} + B^1_{kj}$ ; if( $b^c_j > s''$ )  $b^c_j = s''$ ;
      }  $b^r_j = b^r_{\min}$ ;
    }
    for  $i=0 \dots k-1$  {  $B^1_{ik} = b^r_i$ ;  $B^1_{ki} = b^c_i$ ; }
    for  $i=0 \dots k-1$  { // Updating  $U_k$ 
      for  $j=0 \dots k-1$  {
         $z = B^1_{ik} + B^1_{kj}$ ; if( $B^1_{ij} > z$ )  $B^1_{ij} = z$ ;
      }
    }
  }
}

```

Рис. 7. Псевдокод рекуррентной процедуры

```

Algorithm CalBlock_D0R(B1) {
  dr0 = ∞; wr0 = B101;
  for k=1...B-1 {
    dc = row(B1,k-1); wc = row(B1,k);
    for i=0...k-1 { bci = ∞; }
    for i=0...k-1 {
      brmin = ∞;
      for j=0...k-1 { // Operations UkAk+1
        z = dri + dcj; if(B1ij > z) B1ij = z;
        s0 = B1ij + wrj; if(brmin > s0) brmin = s0;
        s1 = B1ij + wcj; if(bcj > s1) bcj = s1;
      }
      brj = brmin;
    }
    for i=0...k-1 {
      B1ki = bcj; B1ik = dri = bri; wrj = B1i,k+1;
      wrk = B1k,k+1;
    }
  }
  for i=0...B-2 { // Updating UN-1
    for j=0...B-2 {
      z = dri + dcj; if(B1ij > z) B1ij = z;
    }
  }
}

```

Рис. 8. Новый ресинхронизированный алгоритм вычисления диагонального блока

b_j^r . Значение элемента b_j^c формируется в самом векторе b^c . Значение переменной $b_{\min}^r$ рассчитывается по элементу B_{ij}^1 матрицы и весу ребра w_{jk} , находящемуся в векторе w^r . Значение переменной b_j^c рассчитывается по элементу B_{ji}^1 матрицы и весу ребра w_{kj} , находящемуся в векторе w^c . Значения $b_{\min}^r$ и b_j^c рассчитывается на одной и той же итерации, следовательно, значение B_{ij}^1 должно быть предварительно обновлено на этой же итерации. Сформированные векторы b^r и b^c записываются в матрицу B^1 . Конечная одиночная операция U_{N-1} выполняется двумя дополнительными вложенными циклами после завершения цикла по k .

Преобразование алгоритмов вычисления блоков креста и обновляемых блоков

После того, как с алгоритма *CalBlock* снята реализация блока типа D0, этот алгоритм продолжает реализовывать блоки типа C1, C2

и U3. При этом *CalBlock* приобретает новые свойства, важнейшим из которых является появившаяся возможность произвольной перестановки циклов по переменным i , j и k . Всего возможно шесть вариантов перестановки, из которых перестановка $k-i-j$ использована в *CalBlock*. Важнейшие оставшиеся варианты перестановки рассмотрим с точки зрения повышения производительности алгоритма.

Выбор варианта $i-k-j$ и устранение идентичных блоков во входных аргументах дает три алгоритма вычисления блоков типа C1, C2 и U3 (рис. 9). В каждый из них, с целью ускорения вычислений, введены по три дополнительные векторные переменные и одной скалярной переменной. Достоинством алгоритмов является последовательная обработка соседних элементов векторов и отсутствие перескакивания на отдаленные участки памяти, что облегчает работу кэш.

Преобразование алгоритма *CalBlock* для порядка $i-j-k$ переменных цикла дает три алгоритма вычисления блоков типа C1, C2 и U3 (рис. 10). В каждый из них введены две дополнительные векторные переменные и одна скалярная переменная $d_{\min}$. Векторные переменные ускоряют просмотр элементов строк матриц, а скалярная переменная может быть размещена на регистре и способна уменьшить число операций записи в матрицу B^1 (и соответственно в кэш) в B раз. Недостатком алгоритмов является перескакивание по отдаленным участкам памяти при чтении значений индексных переменных B_{kj}^3 и B_{kj}^1 . Алгоритмы вычисления блоков эффективно реализуются средствами адресного программирования.

```

Algorithm CalBlock_C1(B1,B3) {
  for i=0...B-1 {
    b1r = row(B1,i);
    d1r = row(B1,i);
    for k=0...B-1 {
      b1 = b1rk;
      b3r = row(B3,k);
      for j=0...B-1 {
        s = b1 + b3rj;
        if(d1rj > s) d1rj = s;
      }
    }
  }
}
a

```

```

Algorithm CalBlock_C2(B1,B2) {
  for i=0...B-1 {
    b2r = row(B2,i);
    d1r = row(B1,i);
    for k=0...B-1 {
      b2 = b2rk;
      b1r = row(B1,k);
      for j=0...B-1 {
        s = b2 + b1rj;
        if(d1rj > s) d1rj = s;
      }
    }
  }
}
б

```

```

Algorithm CalBlock_U3(B1,B2,B3) {
  for i=0...B-1 {
    b2r = row(B2,i);
    d1r = row(B1,i);
    for k=0...B-1 {
      b2 = b2rk;
      b3r = row(B3,k);
      for j=0...B-1 {
        s = b2 + b3rj;
        if(d1rj > s) d1rj = s;
      }
    }
  }
}
в

```

Рис. 9. Преобразованные по варианту $i-k-j$ алгоритмы остальных блоков: а – тип C1, б – тип C2, в – тип U3

```

Algorithm CalBlock_C1( $B^1, B^3$ ) {
  for  $i=0 \dots B-1$  {
     $b1^r = \text{row}(B^1, i)$ ;
     $d1^r = \text{row}(B^1, i)$ ;
    for  $j=0 \dots B-1$  {
       $d_{\min} = \infty$ ;
      for  $k=0 \dots B-1$  {
         $s = b1_k^r + B_{kj}^3$ ;
        if( $d_{\min} > s$ )  $d_{\min} = s$ ;
      }
       $d1_j^r = d_{\min}$ ;
    }
  }
}

```

a

```

Algorithm CalBlock_C2( $B^1, B^2$ ) {
  for  $i=0 \dots B-1$  {
     $b2^r = \text{row}(B^2, i)$ ;
     $d1^r = \text{row}(B^1, i)$ ;
    for  $j=0 \dots B-1$  {
       $d_{\min} = \infty$ ;
      for  $k=0 \dots B-1$  {
         $s = b2_k^r + B_{kj}^1$ ;
        if( $d_{\min} > s$ )  $d_{\min} = s$ ;
      }
       $d1_j^r = d_{\min}$ ;
    }
  }
}

```

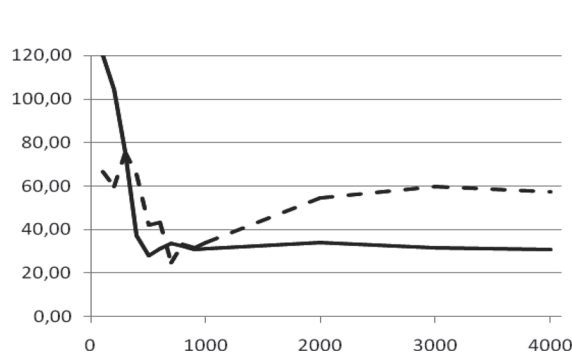
б

```

Algorithm CalBlock_U3( $B^1, B^2, B^3$ ) {
  for  $i=0 \dots B-1$  {
     $b2^r = \text{row}(B^2, i)$ ;
     $d1^r = \text{row}(B^1, i)$ ;
    for  $j=0 \dots B-1$  {
       $d_{\min} = \infty$ ;
      for  $k=0 \dots B-1$  {
         $s = b2_k^r + B_{kj}^3$ ;
        if( $d_{\min} > s$ )  $d_{\min} = s$ ;
      }
      if( $d1_j^r > d_{\min}$ )  $d1_j^r = d_{\min}$ ;
    }
  }
}

```

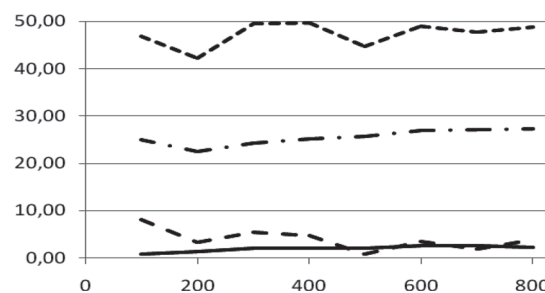
в

Рис. 10. Алгоритмы блоков, преобразованные по варианту $i-j-k$: а – тип C1, б – тип C2, в – тип U3Рис. 11. Ускорение в% нового алгоритма диагонального блока по сравнению с алгоритмом Флойда-Уоршелла в зависимости от размера блока на двух архитектурах процессора: *cpu1* (сплошная), *cpu2* (пунктирная)

Результаты вычислительных экспериментов

Целью экспериментов явилось выявление зависимости времени работы всего разнородного блочного алгоритма и алгоритмов вычисления блоков четырех типов от размера графа, размера блока, числа блоков, а также сравнение нового разнородного блочного алгоритма с известным однородным блочным алгоритмом. Использованы полные графы со случайными весами на ребрах, для которых задача о кратчайших путях наиболее трудоемка. Эксперименты проведены на многоядерных процессорах Intel® Core™ i3 CPU 550 @ 3.20 GHz 3.19 GHz (в дальнейшем *cpu1*) и Intel(R) Core(TM) i5-6200UCPU @ 2.20 GHz (в дальнейшем *cpu2*).

Наилучшие результаты дал новый ресинхронизированный алгоритм *CalBlock_DOR* вычисления диагонального блока. Рис. 11 показывает его ускорение по сравнению с алгоритмом *CalBlock* Флойда-Уоршелла. При увеличении размера графа до 4000 вершин ускорение стабильно составляет чуть больше 30% на

Рис. 12. Ускорение в % алгоритма разнородного блока по сравнению с алгоритмом однородного блока в зависимости от размера B блока при $M = 4$ и $N = 4*B$: блоки всех типов на *cpu1* (сплошная), блоки всех типов на *cpu2* (пунктирная), диагональный блок на *cpu1* (штрихпунктирная), диагональный блок на *cpu2* (точечная)

cpu1 и до 60% на *cpu2*. Благодаря такому значительному ускорению разнородный блочный алгоритм выгоднее использовать при небольшом числе блоков, так как число диагональных блоков равно M при общем числе вычисляемых блоков M^3 . Так при $M = 2$ число диагональных блоков составляет 25%, при $M = 4$ – 6.25%, при $M = 8$ – только 1.56%.

Рис. 12 сравнивает неоднородный блочный алгоритм с однородным блочным алгоритмом при одновременном росте размера блока со 100 до 800 и росте размера графа с 400 до 3200 вершин, при этом размер матрицы блоков постоянен и составляет 4×4 . Новый алгоритм вычисления диагонального блока показал значительное ускорение: на *cpu1* оно в среднем выросло на 25.5%, на *cpu2* – 47.29%. С учетом блоков всех четырех типов разнородный блочный алгоритм дал значительно меньшее ускорение, которое составило от 0.84% до 2.63% на *cpu1* и составило от 0.74% до 8.05% на *cpu2*. Это свидетельствует о том, что алгоритмы *CalBlock_C1*, *CalBlock_C2* и *CalBlock_U3*, изображенные на рис. 9, дают ускорение на

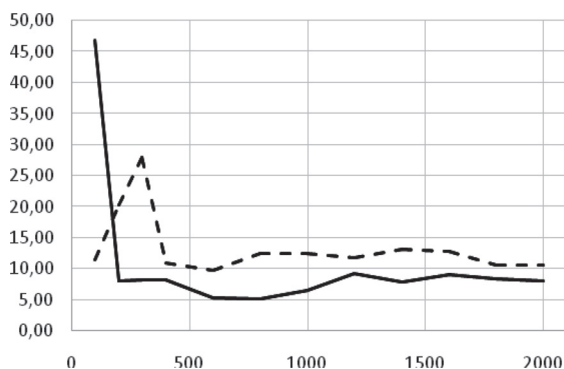


Рис. 13. Ускорение в % разнородного блочного алгоритма по сравнению с однородным блочным алгоритмом в зависимости от размера блока $B = 100\text{--}2000$ при $M = 2$ и $N = 2*B$ на *cpu1* (сплошная) и *cpu2* (пунктирная)

блоках типа C1, C2 и U3 значительно меньшее, чем *CalBlock_D0R* по сравнению с *CalBlock*. При этом отмеченные выше свойства алгоритмов *CalBlock_C1*, *CalBlock_C2* и *CalBlock_U3* составляют потенциал для дальнейшего повышения производительности разнородного блочного алгоритма. Действительно, уменьшение матрицы блоков с 4×4 до 2×2 дает ускоре-

ние нового разнородного блочного алгоритма по сравнению с однородным блочным алгоритмом в среднем на 10.88% на *cpu1* и на 13.67% на *cpu2* (рис. 13).

Заключение

Алгоритм Флойда-Уоршелла и построенный на его основе блочный алгоритм поиска кратчайших путей между всеми парами вершин взвешенного графа отличаются однородностью структуры и универсальностью построения базовых компонентов. В статье предложен неоднородный блочный алгоритм, различающий четыре типа блоков матрицы кратчайших путей и четыре отдельных более эффективных алгоритма для вычисления блоков каждого типа. Алгоритм вычисления диагонального блока дал наибольший прирост производительности (до 60%), а производительность всего разнородного блочного алгоритма при выполнении на одном процессоре с кэш памятью повысилась на 13.67% в среднем.

References

1. Floyd, R. W. Algorithm 97: Shortest path / R. W. Floyd // Communications of the ACM, 1962, 5(6), p. 345.
2. Hofner, P. Dijkstra, Floyd and Warshall Meet Kleene / P. Hofner and B. Moller // Formal Aspect of Computing, Vol.24, No.4, 2012, № 2, pp. 459–476.
3. Venkataraman, G. A Blocked All-Pairs Shortest Paths Algorithm / G. Venkataraman, S. Sahni, S. Mukhopadhyaya // Journal of Experimental Algorithmics (JEA), Vol 8, 2003, pp. 857–874
4. Park, J. S. Optimizing graph algorithms for improved cache performance / J. S. Park, M. Penner, and V. K. Prasanna // IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(9), pp. 769–782.
5. Albalawi, E. Task Level Parallelization of All Pair Shortest Path Algorithm in OpenMP 3.0 / E. Albalawi, P. Thulasiraman, R. Thulasiram // 2nd International Conference on Advances in Computer Science and Engineering (CSE 2013), 2013, Los Angeles, CA, July 1–2, 2013, pp. 109–112.
6. Tang, P. Rapid Development of Parallel Blocked All-Pairs Shortest Paths Code for Multi-Core Computers / P. Tang // IEEE SOUTHEASTCON 2014, pp. 1–7.
7. Solomonik, E. Minimizing Communication in All Pairs Shortest Paths / E. Solomonik, A. Buluc, and J. Demmel // IEEE 27th International Symposium on Parallel & Distributed Processing, 2013, pp. 548–559.
8. Singh, A. Performance Analysis of Floyd Warshall Algorithm vs Rectangular Algorithm / A. Singh, P. K. Mishra // International Journal of Computer Applications, Vol.107, No.16, 2014, pp. 23–27.
9. Madduri, K. An Experimental Study of a Parallel Shortest Path Algorithm for Solving Large-Scale Graph Instances / K. Madduri, D. Bader, J. W. Berry, J. R. Crobak // Proceedings of the Ninth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX), 2007, pp. 23–35.
10. Prihozhy, A. Synthesis and Optimization of Pipelines for HW Implementations of Dataflow Programs / A. Prihozhy, E. Bezati, H. Rahman, M. Mattavelli // IEEE Trans. on CAD of Integrated Circuits and Systems, Vol. 34, No. 10, 2015, pp. 1613–1626.

Поступила
01.07.2017

После доработки
06.07.2017

Принята к печати
10.09.2017

Prihozhy A., Karasik O.

HETEROGENIOUS BLOCKED ALL- PAIRS SHORTEST PATHS ALGORITHM

Belarusian National Technical University

The problem of finding the shortest paths between all pairs of vertices in a weighted directed graph is considered. The algorithms of Dijkstra and Floyd-Warshall, homogeneous block and parallel algorithms and other algorithms of solving this

problem are known. A new heterogeneous block algorithm is proposed which considers various types of blocks and takes into account the shared hierarchical memory organization and multi-core processors for calculating each type of block. The proposed heterogeneous block computing algorithms are compared with the generally accepted homogeneous universal block calculation algorithm at theoretical and experimental levels. The main emphasis is on using the nature of the heterogeneity, the interaction of blocks during computation and the variation in block size, the size of the block matrix and the total number of blocks in order to identify the possibility of reducing the amount of computation performed during the calculation of the block, reducing the activity of the processor's cache memory and determining the influence of the calculation time of each block type on the total execution time of the heterogeneous block algorithm. A recurrent resynchronized algorithm for calculating the diagonal block (D0) is proposed, which improves the use of the processor's cache and reduces the number of iterations up to 3 times that are necessary to calculate the diagonal block, which implies the acceleration in calculating the diagonal block up to 60%. For more efficient work with the cache memory, variants of permutation of the basic loops $k-i-j$ in the algorithms of calculating the blocks of the cross (C1 and C2) and the updated blocks (U3) are proposed. These permutations in combination with the proposed algorithm for calculating the diagonal block reduce the total runtime of the heterogeneous block algorithm to 13% on average against the homogeneous block algorithm.

Key words: Floyd-Warshall algorithm, all pairs shortest paths, heterogeneous block algorithm, multi-core system, shared cache memory.



Прихожий Анатолий Алексеевич – профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ, доктор технических наук (1999), профессор (2001). Научные интересы в области языков программирования и описания цифровой аппаратуры, распараллеливающих компиляторов, инструментальных средств проектирования программных и аппаратных систем на логическом, поведенческом и системном уровнях. Имеет более 300 научных публикаций в Восточной и Западной Европе, США и Канаде.

Anatoly Prihozhy is a full professor at the Computer and system software department of Belarusian national technical university, doctor of science (1999) and professor (2001). His research interests include programming and hardware description languages, parallelizing compilers, and computer aided design tools for software and hardware at logic, high and system levels. He has over 300 publications in Eastern and Western Europe, USA and Canada.



Карасик Олег Николаевич – аспирант кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» БНТУ, ведущий инженер программист компании «EPAM Systems», научные интересы в области параллельных многопоточных приложений и распараллеливания для многоядерных и многопроцессорных систем.

Karasik Aleh is a postgraduate of the Computer and system software department of Belarusian national technical university, and a leading software engineer at EPAM Systems. His research interests include parallel multithreaded applications and the parallelization for multicore and multiprocessor systems.

УДК 004.056.5

Т. А. АНДРИЯНОВА, С. Б. САЛОМАТИН

DLP: СНИЖЕНИЕ РИСКА УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ БАНКА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Исследуется применение DLP-системы для защиты конфиденциальной информации, предлагается методика адаптации DLP-системы к специфике деятельности организации, проводится сравнительный анализ результатов работы стандартной и адаптированной DLP-систем в Банке. Разработаны: методика анализа событий информационной безопасности, алгоритм реагирования на выявленные события, а также методика и процедуры адаптации стандартной DLP-системы к специфике деятельности Банка. Методика адаптации стандартной DLP-системы к специфике работы Банка состоит из следующих мероприятий: определение категорий критичной корпоративной информации, аудит информационных систем, описание актуальных рисков и их оценка, введение регламентов обращения с информацией ограниченного распространения и настройку DLP-системы в соответствии со спецификой работы Банка. Модернизация конфигурации стандартной DLP-системы включает в себя следующие процедуры: селекцию конфиденциальной информации Банка по критерию принадлежности, настройку детектирования, создание периметров и разработку алгоритма реагирования на выявленные события информационной безопасности в Банке. Алгоритм предназначен для повышения эффективности реагирования сотрудниками службы информационной безопасности в случаях выявления инцидентов и описывает этапы последующих действий. Результаты исследований доказывают, что использование адаптированной DLP-системы значительно снижает количество ложных срабатываний, повышая точность детектирования конфиденциальной информации и снижая риск утечки критичной информации за пределы корпоративной сети. Применение адаптированной DLP-системы в Банке позволило повысить быстроедействие реагирования специалистов службы информационной безопасности на выявленные адаптированной DLP-системой события информационной безопасности в Банке, а также позволило осуществить переход работы DLP-системы из режима копирования в режим блокирования нелегитимной передачи информации.

Ключевые слова: Информационная безопасность; DLP-система; система мониторинга; событие информационной безопасности; утечка конфиденциальной информации; детектирование информации; алгоритм реагирования на инциденты.

Введение

Деятельность банков всегда была связана с обработкой и хранением большого количества конфиденциальных данных. Поэтому на первый план выходят риски, связанные с утечкой конфиденциальной информации. Прежде всего, для защиты от утечек конфиденциальной информации применяются DLP-системы.

DLP-системы – это системы защиты конфиденциальной информации, которые отслеживают и анализируют данные, отправляемые за пределы организации через корпоративную и веб-почту, Интернет (в том числе и по защищенному протоколу HTTPS), а также системы мгновенного обмена сообщениями и Skype. Данные системы также позволяют сотрудникам службы безопасности контролировать от-

правку файлов на принтеры и копирование информации на съемные носители [1].

В настоящей работе приводятся результаты исследования адаптации DLP-системы в Банке для проведения мониторинга информационной безопасности.

Стандартная DLP-система

Стандартная DLP-система (DLPs) позволяет контролировать информационные потоки в корпоративной среде для выявления и предотвращения случаев несанкционированного использования конфиденциальных данных. Структурная схема DLPs представлена на рис. 1.

Для контроля утечек информации используются «Технологии» – набор инструментов анализа, выполняющих поиск заданных эле-

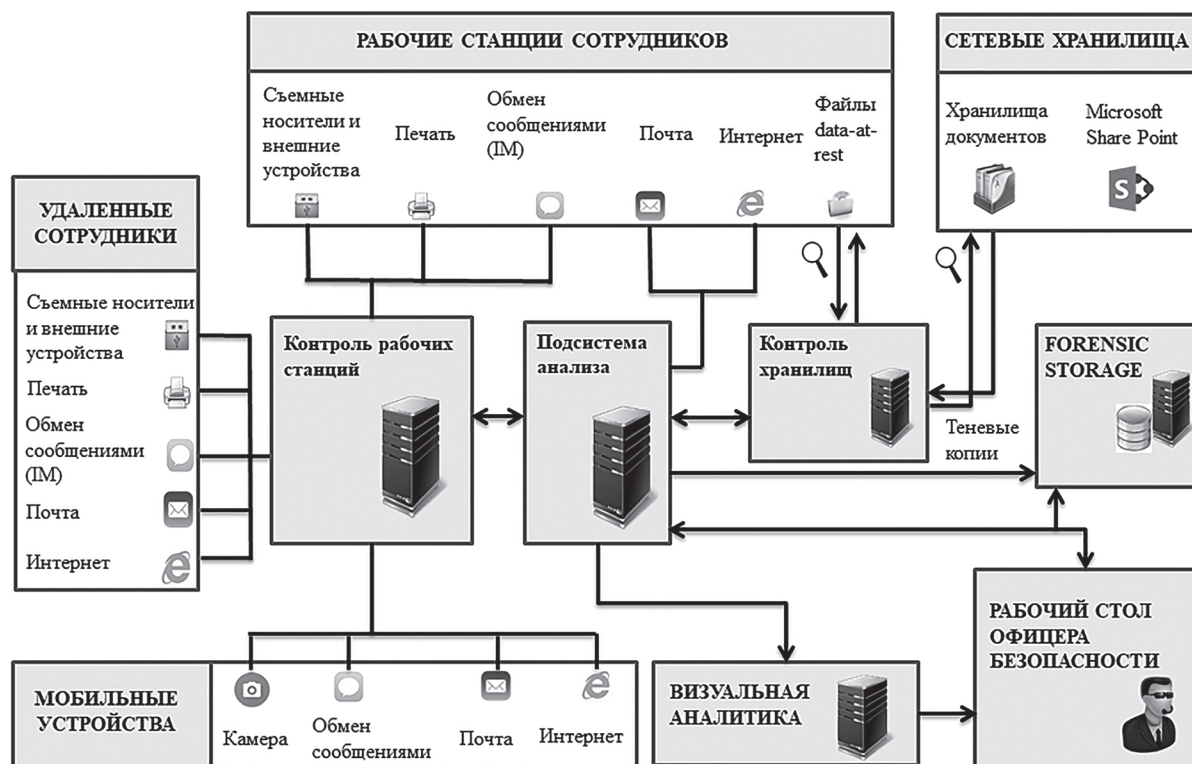


Рис. 1. Структурная схема DLPs

ментов в контексте событий информационной безопасности. Событие – объекты перехвата трафика (SMTP-, IMAP-, POP3-письма, HTTP-запросы, ICQ-сообщения, Skype-сообщения), теневые копии файлов и задания на печать, которые создаются DLPs в результате обмена данными между сотрудниками компании и другими организациями, включая публикацию в общедоступных источниках, копирование на внешние устройства и печать.

«Технологии» состоят из категории и терминов, эталонных документов, бланков, выгрузок, текстовых и графических объектов, и представляют собой пример конфиденциальных данных организации.

Контекст события – внутреннее представление перехваченного события – XML данные, извлеченные из события и его вложений. После обработки с помощью «Технологий» к контексту добавляются результаты анализа и информация о решении по событию [2–3].

Обработка и анализ перехваченных DLPs объектов осуществляется подсистемами, представленными в таблице.

Методика анализа событий информационной безопасности выполняется в следующем порядке:

1. Выделение атрибутов – подсистема Обработки выделяет у объектов имеющиеся атрибуты (у SMTP-писем – адреса отправителя и получателей, тема письма и т. п.).

2. Извлечение вложенных файлов – модуль Принятия решений анализирует вложенные файлы на основании названия и формата файла.

3. Анализ текста и графических объектов – подсистема Анализа обрабатывает текстовые и графические данные: тексты писем, сообщений, запросов; тексты, извлеченные из вложений поддерживаемых форматов, а также файлы изображений.

На основании результатов анализа модуль Принятия решений выносит заключение о возможном нарушении правил информационной безопасности и определяет, какие действия должны быть выполнены в случае нарушения.

Однако стандартная DLP-система имеет ряд недостатков:

1. Огромное количество ложных срабатываний. Так как DLPs внедряется со стандартными настройками, то она содержит множество загруженных категорий и классов конфиденциальности, тем самым увеличивая количество детектируемых документов.

Подсистемы обработки и анализа перехваченных DLPs объектов

Подсистема	Модули подсистемы	Функции подсистемы/модуля
Обработки	Обработки SMTP- и POP3-трафика Обработки HTTP-трафика Обработки ICQ-трафика Обработки Теневых Копий Обработки SMTP-трафика Обработки HTTP-трафика	Извлечение из перехваченных объектов значимой информации и вложений, определение форматов вложений и передача извлеченных текстов в подсистему Анализа.
Анализа	Лингвистического анализа	Проверка текста на соответствие каким-либо категориям.
	Детектирования текстовых объектов	Поиск текстовых объектов (например, номеров кредитных карт) в тексте объектов.
	Детектирования цифровых отпечатков	Поиск цитат из эталонных документов в тексте объектов.
	Детектирования бланков	Поиск бланков в тексте объектов.
	Детектирования печатей	Поиск изображений печатей в тексте объектов.
	Детектирования выгрузок из БД	Поиск цитат из базы данных в тексте событий.
Применения алгоритмов управления	Принятия решений	Поиск изображений, принадлежащих определенным классам, в тексте и вложениях объектов.
		Обеспечение корпоративной политики безопасности путем выполнения для объектов правил из набора алгоритмов управления.

2. Из первого недостатка следует второй – увеличение ресурсов, необходимых на эксплуатацию системы.

3. Невозможность использования DLPs в режиме блокировки утечек. На сегодняшний день все стандартные DLP-системы работают в режиме копирования, т. к. организации, их использующие, опасаются нарушения своих бизнес-процессов. В результате, многие утечки информации не пресекаются, а расследуются постфактум, и компании всё равно несут потери.

«Технологии» DLP-систем дают возможность с высокой точностью детектировать конфиденциальную информацию и определять тематику документов и сообщений, передаваемых за пределы организации, только в том случае, когда был проведен процесс адаптации DLPs и модернизация стандартных технологий под нужды компании.

Адаптивная DLP – система Банка

Службой безопасности Банка проводится мониторинг информационной безопасности с помощью DLP-системы. Офицер службы безопасности Банка проводит постоянное наблюдение за объектами и субъектами, действиями и процессами, влияющими на информационную безопасность, а также регистрацию, сбор, анализ и обобщение результатов наблюдений.

Для устранения недостатков работы стандартной DLPs и автоматизации ее работы, был

осуществлен процесс адаптации DLP-системы.

Ниже представлена разработанная методика адаптации DLPs к специфике работы Банка. Данная методика состоит из следующих мероприятий:

1. Определение категорий критичной корпоративной информации и составление «Перечня информации ограниченного распространения Банка».

2. Аудит информационных систем – описание путей распространения информации внутри Банка, фиксирование ее владельцев и мест хранения.

3. Описание актуальных рисков, оценка рисков утечки информации.

4. Введение регламентов обращения с информацией ограниченного распространения.

5. Настройка DLP-системы в соответствии со спецификой работы Банка – обучение системы различать конфиденциальную информацию в потоке трафика и отличать, когда передача конфиденциальной информации осуществляется легитимно.

Для создания адаптивной DLP-системы (DLPa) была выполнена модернизация конфигурации БКФ. Данные изменения включают в себя следующие процедуры:

1. Селекция конфиденциальной информации Банка по критерию принадлежности. Каждый документ Банка, содержащий информацию ограниченного распространения отнесен

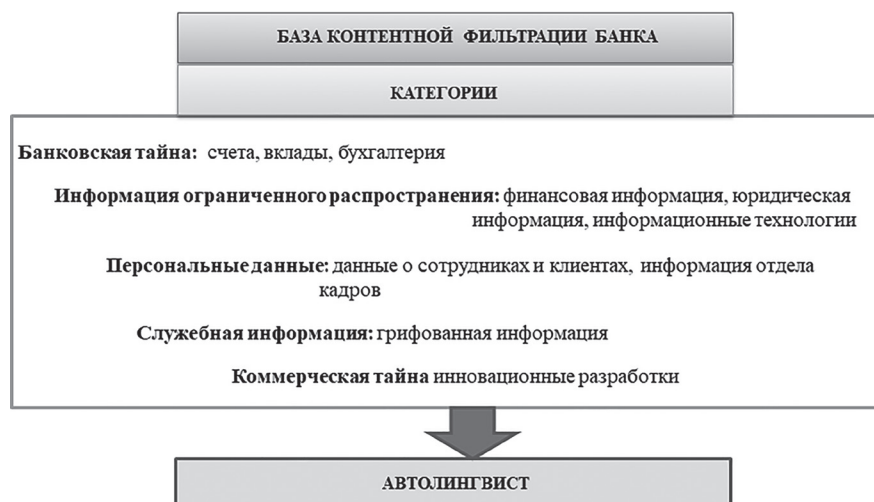


Рис. 2. База контентной фильтрации

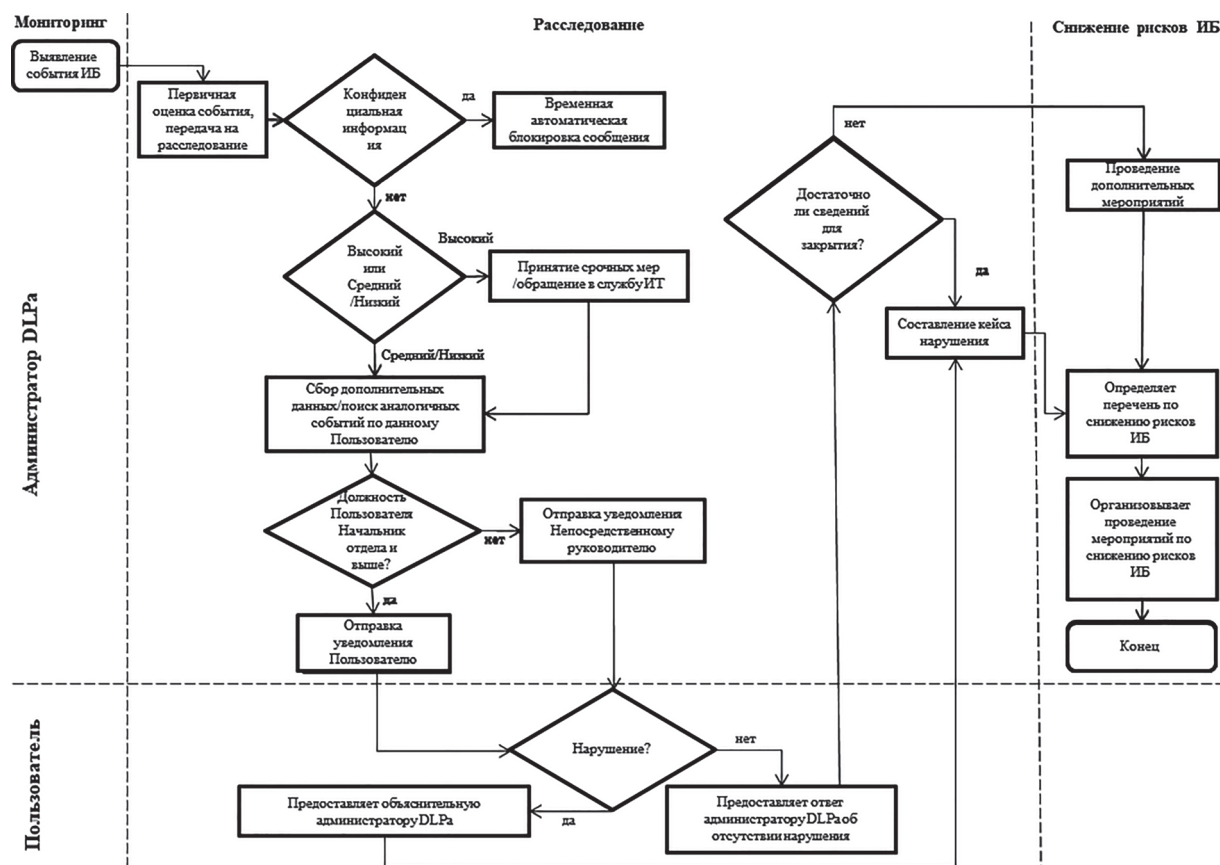


Рис. 3. Алгоритм реагирования на выявленные события

к конкретному пункту «Перечня информации ограниченного распространения Банка» и на его основе создана База контентной фильтрации (БКФ). БКФ представляет собой иерархически организованный список категорий и содержит слова и выражения, наличие которых в документе позволяет определить тематику и степень конфиденциальности информации. Банковская БКФ представлена на рис. 2.

2. Настройка детектирования: заполнение «Технологий» DLPa, создание объектов защиты и формирование алгоритмов управления DLPa. В модули подсистемы Анализа DLPa импортированы шаблоны документов, содержащих информацию ограниченного распространения Банка: бланки договоров, изображения печатей Банка и кредитных карт, текстовые объекты номеров счетов и реквизиты па-

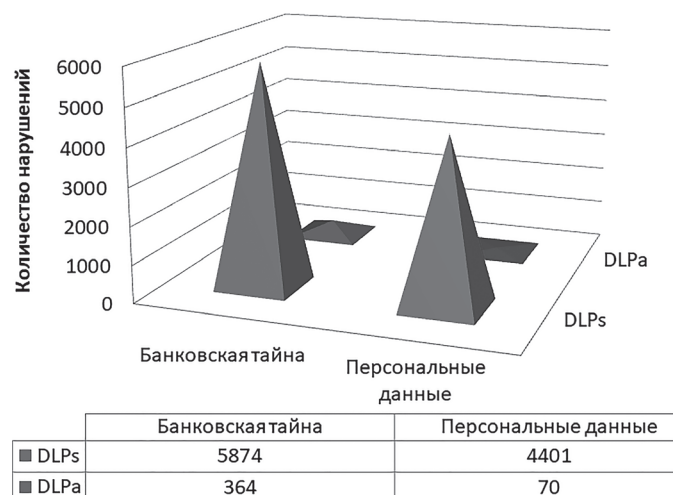


Рис. 4. Статистика перехваченных DLPs и DLPa событий

спорта. Также выстроены связи между объектами и субъектами системы мониторинга событий информационной безопасности.

Для DLPa на основании множества документов, подпадающих под один и тот же пункт «Перечня информации ограниченного распространения Банка», сформированы правила при помощи выставления весов, которые позволяют автоматически определить пункт перечня, к которому относится детектируемый документ. Когда сумма весов в документе превышает установленный порог либо соотношение частоты встречаемости ключевых слов близко к соотношению их весов, происходит срабатывание. Большой вес получают слова с высокой частотой в пределах конкретного документа и с низкой частотой употреблений в других документах [4].

3. Создание периметров. Проработка возможных ситуаций передачи информации и создание периметров, создание маршрутов легитимной передачи конфиденциальной информации, выставление исключений по периметрам внутри Банка.

4. Разработка алгоритма реагирования на выявленные события информационной безопасности в Банке. Данный алгоритм включает в себя этапы мониторинга, расследования инцидентов информационной безопасности и процедуры снижения рисков информационной безопасности. Алгоритм реагирования на выявленные события представлен на рис. 3.

Алгоритм предназначен для повышения эффективности реагирования сотрудниками службы информационной безопасности в слу-

чаях выявления инцидентов и описывает этапы последующих действий [5–8].

Результаты работы адаптивной DLP-системы

Для оценки работы адаптивной DLPa были сформированы и проанализированы два отчета. Первый отчет был сформирован при детектировании объектов защиты «Банковская тайна» и «Персональные данные» за 7 дней для DLPs при стандартных настройках DLP-системы. Второй отчет сформирован при детектировании тех же объектов защиты «Банковская тайна» и «Персональные данные» за 7 дней, но уже для DLPa после процесса адаптации DLP-системы к специфике работы Банка. Данные двух отчетов приведены на рис. 4.

Результатом работы адаптивной DLPa в Банке стало снижение ложных срабатываний DLP-системы в 16 раз при детектировании информации, содержащей персональные данные, и в 62 раза при детектировании информации, составляющей банковскую тайну. На основе полученных экспериментальных данных, можно утверждать о следующих изменениях:

1. Повышение точности детектирования конфиденциальной информации в информационном потоке.

2. Повышение быстродействия реагирования на выявленные DLPa события информационной безопасности в Банке.

3. Повышение эффективности работы DLPa в связи с возможностью перехода работы системы из режима копирования в режим блокирования нелегитимной передачи информации.

Заключение

В соответствии с полученными результатами работы, можно сделать вывод, адаптивная DLP Банка интегрируется в существующую инфраструктуру без влияния на бизнес-процессы, стабильна в работе, проста в настройке, а главное – блокирует попытки пере-

дачи информации ограниченного распространения за пределы корпоративной сети. Тем самым, рассматриваемая DLP-система работает на снижение финансовых, репутационных и технологических рисков Банка, которые могут возникнуть в результате утечки данных.

Литература

1. Данкевич, А. DLP в эпоху корпоративной мобильности / А. Данкевич / Директор информационной службы № 03 [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <https://www.osp.ru/text/print/article/13034662.html?isPdf=1>. – Дата доступа: 15.08.2017.
2. Внуков, А. А. Защита информации в банковских системах: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / А. А. Внуков; М.: Издательство Юрайт, 2017. – 246 с.
3. Технологическое лидерство InfoWatch Traffic Monitor / InfoWatch [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: https://www.infowatch.ru/products/traffic_monitor. – Дата доступа: 04.07.2017.
4. Васильев, В. DLP-системы: что нужно заказчику / В. Васильев / PC Week № 3–4 [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.itweek.ru/security/article/detail.php?ID=192940>. – Дата доступа: 02.08.2017.
5. Зегжда, Д. П. Основы безопасности информационных систем / Зегжда, Д. П., Ивашко, А. М. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 452 с.
6. Корт, С. С. Теоретические основы защиты информации: учеб. пособие. – М.: Гелиос АРБ, 2004. – 240 с.
7. Батаронов, И. Л. Оценка и регулирование рисков, обнаружение и предупреждение компьютерных атак на инновационные проекты / И. Л. Батаронов, А. В. Паринов, К. В. Симонов // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – Вып. 2. – С. 243–246 с.
8. Бутузов, В. В. К вопросу обоснования функции ущерба атакуемых систем / В. В. Бутузов, А. В. Заряев // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – Вып. 1. – С. 47–54.

References

1. Dankevich, A. DLP v jepohu korporativnoj mobil'nosti A. Dankevich / Direktor informacionnoj sluzhby № 03 [Electronic resource]. – 2013. – Mode of access: <https://www.osp.ru/text/print/article/13034662.html?isPdf=1>. – Date of access: 15.08.2017.
2. Vnukov, A. A. Zashhita informacii v bankovskih sistemah: ucheb. posobie dlja bakalavriata i magistratury / A. A. Vnukov. M.: Izdatel'stvo Jurajt, 2017. – 246 s.(in Russ).
3. Tehnologicheskoe liderstvo InfoWatch Traffic Monitor / InfoWatch [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: https://www.infowatch.ru/products/traffic_monitor. – Date of access: 04.07.2017.
4. Vasil'ev, V. DLP-sistemy: chto nuzhno zakazchiku / V. Vasil'ev / PC Week № 3–4 [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <https://www.itweek.ru/security/article/detail.php?ID=192940>. – Date of access: 02.08.2017.
5. Zegzhda, D. P. Osnovy bezopasnosti informacionnyh sistem / Zegzhda, D. P., Ivashko, A. M. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2000. – 452 s.
6. Kort, S. S. Teoreticheskie osnovy zashhity informacii: ucheb. posobie. – M.: Gelios APB, 2004. – 240 s.
7. Bataronov, I. L. Ocenka i regulirovanie riskov, obnaruuzhenie i preduprezhdenie komp'yuternyh atak na innovacionnye proekty / I. L. Bataronov, A. V. Parinov, K. V. Simonov // Informacija i bezopasnost'. – 2013. – T. 16. – Vyp. 2. – S. 243–246 s.
8. Butuzov, V. V. K voprosu obosnovanija funkicii usherba atakuemyh sistem / V. V. Butuzov, A. V. Zarjaev // Informacija i bezopasnost'. – 2013. – T. 16. – Vyp. 1. – S. 47–54.

Поступила
24.06.2017

После доработки
06.07.2017

Принята к печати
10.09.2017

T. A. Andryianava, S. B. Salomatin

DLP: REDUCED RISK OF LEAKAGE OF CONFIDENTIAL INFORMATION OF THE BANK

Research application of DLP-system for protection of confidential information, a methodology for adapting the DLP-system to the specific activities of the organization, comparative analysis of the results of standard and adapted DLP-systems in the Bank. Developed: a technique for analyzing information security events, algorithm for responding to identified events, methodology and procedures for adapting the standard DLP-system to the specifics of the Bank's activities. The methodology for adapting a standard DLP-system to the specifics of the Bank's work consists of the following activities: identification of critical corporate information categories, audit of information systems, description of current risks and their assessment, introduction of rules for Bank's critical information and setting up a DLP system in accordance with the specifics of the Bank's

work. Modernization of the configuration of a standard DLP-system includes the following procedures: selection of confidential information of the Bank based on membership criteria, setting up detection, creating perimeters and developing an algorithm for responding to identified information security events in the Bank. The algorithm is designed to improve the efficiency of the response of information security officers in cases of incident detection and describes the stages of the subsequent actions. The results of the research prove that using an adapted DLP-system significantly reduces the number of false positives, increasing the accuracy of detecting confidential information and reducing the risk of leakage of critical information outside the corporate network. The application of the adapted DLP-system in the Bank allowed to increase the speed of response of information security specialists to the information security events detected by the DLP-system adapted to the Bank, and also allowed the DLP-system to transition from the copy mode to the blocking mode of illegitimate transfer of information.

Keywords: Information Security; DLP-system; monitoring system; an information security event; leakage of confidential information; detection of information; incident response algorithm.



Андриянова Т. А., аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Окончила Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники по специальности «Радиоэлектронная защита информации» в 2009 году, магистратуру по специальности «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность» в 2010.

220013, Республика Беларусь, Минск, ул. П. Бровки, 6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. тел: + 375293436560; e-mail: rezistka@gmail.com

Andryianava T. A., postgraduate student of Belarusian state university of informatics and radioelectronics. Graduated from Belarusian state university of informatics and radioelectronics «Radioelectronic information security» 2009, Master of Technical Sciences «Methods and systems of information security, information security» 2010.



Саломатин С. Б., к. т. н., доцент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Тел: + 375296714732. E-mail: kafsut@bsuir.by

Salomatin S. B., Ph. D., associate professor of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Уважаемые авторы,

Общими критериями для публикации статей в журнале являются актуальность, новизна материала и его ценность в теоретическом и/или прикладном аспектах.

С целью приведения элементов данных, содержащихся в журнале, в соответствие международным требованиям зарубежных аналитических информационных систем (индексов цитирования), используемых для оценки деятельности учреждений образования при расчете показателей в международных рейтингах университетов, редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции приближения к унифицированной системе цитирования научных публикаций SCOPUS,

С 2016 г. Редколлегия журнала предлагает руководствоваться Правилами в приведенной ниже редакции.

Правила для авторов

1. Общие требования

Материалы статей представляются на бумажном носителе (в двух экз.) по адресу: 220013, Минск, ул. Ф. Скорины, 25/3, корп. 20, каб. 508 (Петренко Юрий Николаевич) и в электронном виде e-mail: SA_PI@bntu.by. Телефон для справок: (017) 266 26 58.

Статья, представляемая на бумажном носителе, должна быть подписана всеми авторами. К статье прилагаются сведения об авторах: фамилия, имя, отчество полностью, почтовый адрес, телефоны, адрес электронной почты, место работы, ученая степень и звание, должность. При наличии нескольких авторов должен быть указан автор, ответственный за переписку.

Статьи, поступившие в редакцию журнала, регистрируются в установленном порядке. Статьи, оформленные с нарушением приведенных правил, к рассмотрению редакцией не принимаются. Принятые статьи рецензируются.

При положительной рецензии статья предлагается к опубликованию.

Редакция не принимает статьи, опубликованные ранее в других журналах или научных изданиях.

Гонорар автору за публикацию статьи не выплачивается. Материалы, присланные в редакцию, авторам не возвращаются.

2. Правила оформления статей

2.1. Объем статей (с иллюстрациями) не должен превышать:

- для оригинальной статьи – 7 страниц (не более 8 иллюстраций);
- для краткого сообщения – 3 страниц (не более 2 иллюстраций).

Статья должна быть набрана с помощью текстового редактора Microsoft Word 2007.

Параметры страницы: формат А4 (высота 29,7 см., ширина – 21 см.); отступ для левого поля и поля сверху – 25 мм, правого и нижнего – 20 мм; нумерация страниц сверху в колонтитуле, со второй страницы, с выравниванием по правому краю.

Текст набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт. Межстрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ – 12 мм.

2.2. Индекс УДК набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по правому краю.

2.3. Фамилия и инициалы автора (авторов) в именительном падеже, должность, ученая степень и ученое звание печатаются шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, курсив, выравнивание – по левому краю.

2.4. Название статьи набирается шрифтом Arial, 12 пт, жирный, все прописные, выравнивание – по центру.

2.5. Полное название организации (организаций), в которой работает (учится) автор (авторы) набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, выравнивается по центру, После названия организации пропускается две строки, далее следует адрес (адреса) электронной почты, пропускается две строки.

2.6. Аннотация и ключевые слова (объем 200–250 слов на русском (англ.) языке статьи набирается шрифтом TimesNewRoman, 10 пт, межстрочный интервал 1,15 пт, курсив, выравнивается по центру. Аннотация должна содержать (рекомендованная структура): цель и задачи работы, методы исследований, ре-

зультаты, выводы. Аннотация должна быть пригодна для опубликования отдельно от статьи. Английский вариант не должен быть механическим переводом русского текста, а обеспечивать понимание сути работы для иностранных читателей;

После аннотации пропускается одна строка.

2.7. Текст статьи (набирается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, с абзацем, выравнивание – по ширине) должен содержать следующие элементы:

1) *введение* (может содержать: краткий обзор литературы по проблеме исследования, перечисление нерешенных ранее вопросов, постановку проблемы, цель исследований). Слово «Введение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2) *основная часть исследования* (возможно деление на подразделы), включающая графики и другой иллюстративный материал (при их наличии), при этом таблицы и рисунки не должны дублировать друг друга. Название каждого подраздела статьи печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

3) *Заключение* (формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ по сравнению с аналогами). Слово «Заключение» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, жирный, выравнивание – по левому краю.

2.8. *Литература*. Список литературы оформляется шрифтом TimesNewRoman, 12 пт в соответствии с Инструкцией по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением президиума Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь 24.12.1997 № 178 (в редакции постановления ВАК Беларуси от 22.02.2006 № 2). www.edu.grsu.by/files/liter.doc.

Слово «Литература» печатается шрифтом TimesNewRoman, 12 пт, все прописные, выравнивание – по левому краю.

Источники должны располагаться в порядке цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок в тексте должны быть написаны внутри квадратных скобок (например: [1], [2]).

В статьях на русском языке должно быть до 10 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. В англоязычных статьях должно быть до 30 источников, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования. Обзорные статьи должны включать до 50 ссылок, включая статьи из международных журналов, а также ссылки на собственные исследования.

Список источников должен оформляться на русском и английском языках.

С целью повышения цитирования авторов в журнале проводится транслитерация русскоязычных источников с использованием официальных кодировок в следующем порядке: имена авторов транслитерируются латиницей, название статьи – смысловой транслитерацией (перевод на английский язык), название источника, где опубликована работа, транслитерируется латиницей, если у источника (журнала) нет официального названия на английском языке).

Для удобства транслитерации возможно использование онлайн-сервисов: <http://www.translit.ru>.

Все русскоязычные источники литературы должны быть представлены в транслитерированном варианте. За правильность приведенных в списке литературы данных ответственность несут автор(ы). В списке должны иметь место ссылки на издания, включенные в международные базы цитирования Scopus и Web of Science).

2.9. *После списка литературы* на русском и английском языках в статье на русском (англ.) языке должно следовать название статьи, список авторов, сведения о них и аннотация на английском (русском) языке.

Далее указывается: грант, гос. программа, тема госбюджетной НИР (№ Гос. регистрации) или иной документ, в рамках которой выполнена работа (или инициативная).

2.10. *Резюме авторов* (шрифтом TimesNewRoman, 10 пт.) сопровождается фотографией (3-4 см.), JPG.

2.11. *Оформление формул*. Только сложные формулы должны быть набраны с помощью встроенного в MS Word редактора формул Equation. Просто буквы с индексами могут быть набраны без использования формульного редактора с помощью средств оформления MS Word. Латинские символы должны быть набраны курсивом, как в формулах, так и на рисунках, и в тексте, а русские и греческие – обычным текстом.

В редакторе формул должен быть установлен следующий размер символов: обычный символ – 11 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 17 пт., мелкий символ – 12 пт. Формулы выравниваются по центру страницы. При необходимости делать ссылки на формулы их следует нумеровать арабскими цифрами, помещенными в круглые скобки, в порядке упоминания. Номера формул выравниваются по правому краю страницы.