

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА
№ 4, 2017**

**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE
No 4, 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

Тонконогов Б. А., Кундас С. П., Мороз А. Е.
Архитектура и функциональность интегрированной
информационной системы для анализа потен-
циала возобновляемых источников энергии..... 4

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Абуфанас А. С., Лобаты А. А., Яцына Ю. Ф.
Аналитический синтез форсированного импульс-
ного управления электроприводом системы слежения 16

Смирнов С. А., Горшкова Н. А.
Методика проектирования гидроприводов на при-
мере гидропривода подъёмно-мачтового устройства. 21

Михайлов В. Г.
Применение микропроцессорных систем
в автомобилестроении..... 27

SYSTEM ANALYSIS

Tonkonogov B. A., Kundas S. P., Moroz A. E.
Architecture and functionality of integrated information
system for analysis of potential of renewable energy
sources..... 4

MANAGEMENT OF TECHNICAL OBJECTS

Abufanas A. S., Lobaty A. A., Yacina Y. F.
Analytical synthesis of forced pulse electronic drive
control of a tracking system 16

Smirnov S. A., Gorshkova N. A.
The method of designing hydraulic drives on the
example of a hydraulic drive of a lifting-mast device.... 21

Mikhailov V. G.
Application of microprocessor systems in automotive
industry..... 27

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**Романчук В. М.**

Измерение нефизической величины 39

Бурый Я. А., Самаль Д. И.

Применение эволюционной парадигмы к проектированию архитектуры нейронной сети для распознавания искажённого текста 45

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ**Андриянова Т. А., Саломатин С. Б.**

Использование адаптированной dlp-системы для блокирования утечек информации 52

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**Здоронюк Ю. А.**

Лингвистические и акустические ресурсы компьютерной системы анализа и интерпретации речевой интонации 59

Вишняков В. А., Ковалев А. П.

Онлайн-сервисы и информационные технологии в дистанционном обучении 66

Попова Ю. Б., Яцынович С. В.

Программная реализация искусственной нейронной сети для управления виртуальными объектами. 72

DATA PROCESSING AND DECISION-MAKING**Romanchuk V. M.**

Model of rating of non physical quantity 39

Bury Y. A., Samal D. I.

Application of the evolutionary paradigm to designing architecture of a neural network for recognizing the distorted text 45

INFORMATION SECURITY**Andryianava T. A., Salomatin S. B.**

Using the adapted dlp system for blocking information leaks 52

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION**Zdaranok Y. A.**

Linguistic and acoustic resources of the computer-based system for analysis and interpretation of speech intonation 59

Vishniakou U. A., Kovalev A. P.

Online-services and information technologies in distance learning 66

Popova Y. B., Yatsynovich S. V.

Software implementation of the artificial neural network for virtual objects control 72

Ответственный секретарь редакции

Петренко Ю. Н.

Адрес редакцииул. 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 address25/3 Franciska Skariny 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 620.9:004

Б. А. ТОНКОНОГОВ¹, С. П. КУНДАС², А. Е. МОРОЗ³

АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

²Белорусский национальный технический университет

³ООО «Сенсоэлектроника»

Целью работы явилась разработка оригинальной архитектуры интегрированной информационной системы для анализа потенциала возобновляемых источников энергии (ИСАПВИЭ). Требуемая функциональность системы обусловила решение ряда задач по разработке соответствующих программных модулей, реализующих методы, модели и алгоритмы для оценки энергетического потенциала и экономической эффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Это потребовало решения следующих задач: выполнены адаптация существующих и разработка новых методов анализа потенциала ВИЭ на различных территориальных уровнях с применением современных технологий географических информационных систем и компьютерных технологий; разработаны модели для оценки и расчета потенциала возобновляемых энергетических ресурсов (ВЭР); адаптированы методики для оценки экономической эффективности принимаемых решений по использованию ВИЭ; разработана архитектура информационной системы и осуществлен выбор технологий и средств ее реализации; разработаны алгоритмы программных модулей и их взаимодействия в составе информационной системы. Отличительной особенностью архитектуры явились гибкость и открытость для расширения и реализации дополнительной функциональности, в частности разработки специальных алгоритмов и программных модулей взаимодействия с базой данных (БД) и графического Web-ориентированного пользовательского интерфейса, предоставляющего возможность работы с картографической информацией. Разработка и внедрение указанной системы является актуальной научной и практической задачей, решение которой создаст условия для расширения использования ВИЭ в Республике Беларусь (РБ) и повышения энергетической безопасности страны. Результаты проведенных исследований и выполненных разработок могут быть использованы в системе Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РБ, в частности для ведения государственного кадастра ВИЭ и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: интегрированная информационная система, база данных оборудования, анализ энергетического потенциала, анализ экономической эффективности, возобновляемые источники энергии.

Введение

Оценка и возможности использования потенциала местных ВИЭ в РБ является актуальной научной и технической проблемой, важной для обеспечения энергетической безопасности страны. РБ не обладает в достаточном количестве собственными углеводородными источниками энергии. Поэтому важным направлением в энергетической политике, в том числе в энергосбережении для нашей страны, является использование ВИЭ, которые позволяют сократить импорт дорогостоящих углеводород-

ных ресурсов, обеспечить и повысить энергетическую безопасность государства и улучшить экологические показатели энергетики.

Однако эффективное использование ВИЭ в значительной степени зависит от правильной оценки ресурсного потенциала региона, наличия соответствующих технологий и оборудования и требуемой инфраструктуры и законодательной и нормативной базы. Учитывая территориальную и временную распределенность ВЭР и зависимость их во многих случаях от погодных условий эффективное решение этой

многокритериальной задачи возможно только с применением информационных технологий [1].

Разработке информационных систем в области возобновляемой энергетики уделяется в настоящее время большое внимание в странах дальнего и ближнего зарубежья. В частности, в США много разработок в этом направлении выполнено Национальной лабораторией ВИЭ (National Renewable Energy Laboratory (NREL)) – с применением технологий географических информационных систем (ГИС) созданы базы данных возобновляемых ресурсов штатов страны и разработаны модели и программные средства для анализа эффективности использования ВИЭ (HOMER, Interactive mapping tools, REFlex и другие). Аналогичные базы данных с различными объемами наполнения созданы и в других странах: Дании, Японии, Китае и Латвии. Имеются сообщения о начале таких разработок в Российской Федерации и Украине [2, 3].

Исходя из вышеизложенного, разработка методов, моделей и алгоритмов для анализа ВЭР РБ и создание на их основе ИИСАПВИЭ является актуальной научной и практической задачей, решение которой создаст условия для расширения использования ВИЭ в РБ и повышения энергетической безопасности нашей страны.

В рамках решения поставленной задачи авторами выполнены следующие работы:

1. Проведен анализ известных разработок, средств и технологий в области автоматизированного анализа потенциала ВЭР.
2. Выполнены адаптация существующих, и разработка новых методов анализа потенциала ВИЭ на различных территориальных уровнях с применением современных ГИС-технологий и компьютерных технологий.
3. Разработаны модели для оценки и расчета потенциала ВЭР.
4. Выполнена адаптация методик оценки экономической эффективности принимаемых решений по применению ВИЭ.
5. Разработана архитектура информационной системы и произведен выбор технологий и средств ее реализации.
6. Разработаны алгоритмы программных модулей и их взаимодействия в составе информационной системы.

Разработанные архитектура и специализированные алгоритмы программных модулей позволят реализовать соответствующую функциональность ИИСАПВИЭ, заключающуюся в работе адаптированных для условий РБ методов и моделей для анализа потенциала ВИЭ с применением ГИС-технологий.

Технологии и средства реализации и архитектура информационной системы

Для проектирования и разработки ИИСАПВИЭ, как и любого другого сложного по структуре и функциональности программного продукта для работы с картографической информацией, соответствующие технологии выбирались таким образом, чтобы максимально снизить временные затраты на разработку, сделать сопровождение программного продукта более простым, а также обеспечить высокую производительность приложения.

В частности, выбранные технологии должны решать следующие задачи и проблемы:

- работа с динамически меняющимся содержанием на клиентских Web-страницах без их перезагрузки;
- реализация программного пользовательского интерфейса на стороне Web-сервера;
- создание уровня доступа к информации, хранящейся в БД, для использования в программном пользовательском интерфейсе и другие.

Архитектура модуля для работы с картографической информацией включает:

- *пользовательскую часть*, содержащую графический пользовательский интерфейс и уровень для работы с API сервера;
- *серверную часть*, содержащую уровни взаимодействия с БД и представления и взаимосвязи между уровнями приложения.

Модули для работы с картографической информацией являются модулями для Web-приложения, разрабатываемого в соответствии с технологией *Microsoft ASP.NET MVC*. Система использует технологию *Microsoft.NET* на стороне сервера и технологию *AJAX* для фоновой обмена данными между клиентом и сервером.

При разработке в среде *Microsoft Visual Studio* приложение разбито на 2 проекта для программной реализации:

- *уровня доступа к БД*;
- *графического пользовательского интерфейса*.

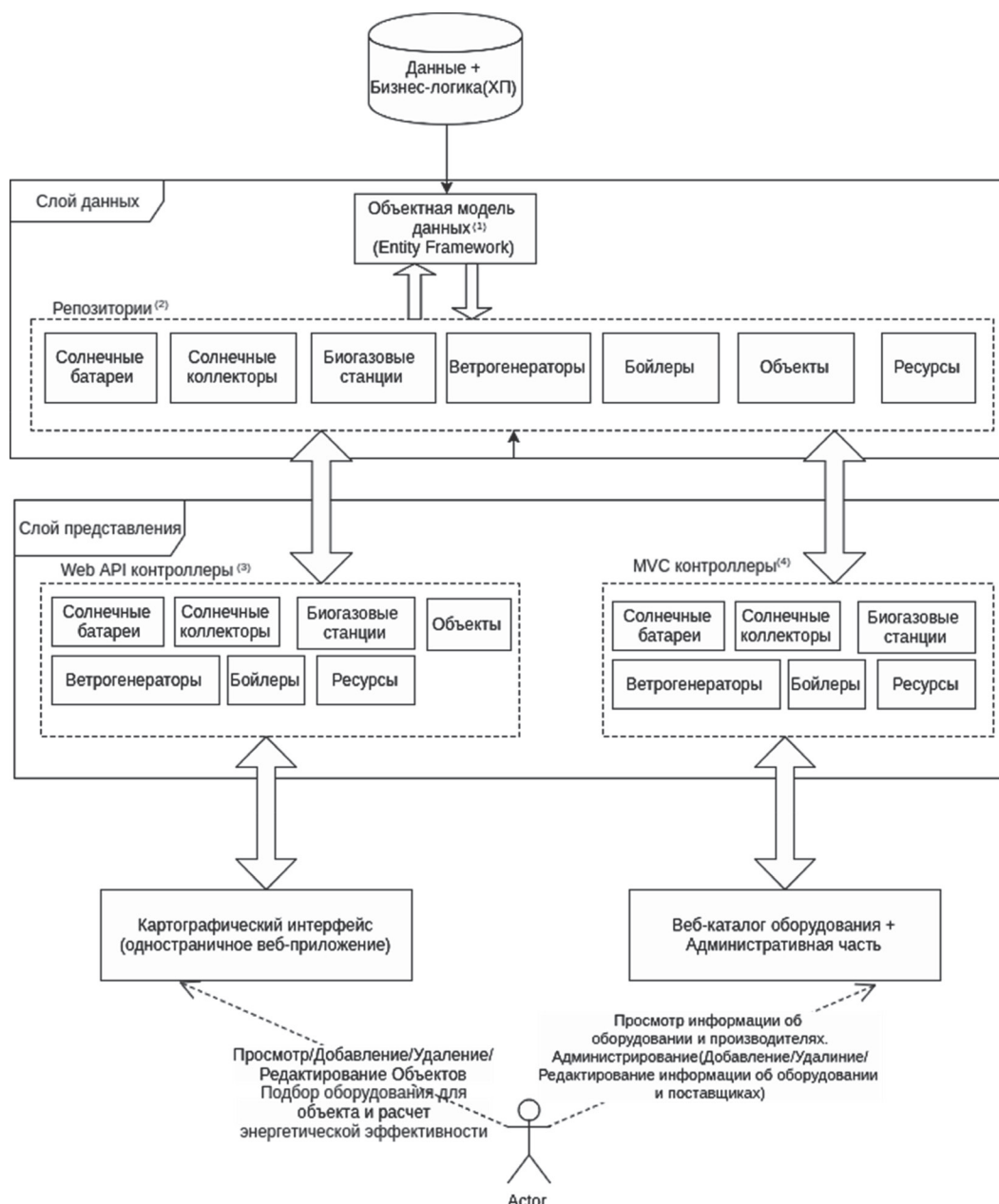


Рис. 1. Общая архитектура ИИСАПВИЭ

Такое разбиение упрощает разработку, а также позволяет сократить затраты времени при замене источника данных (рис. 1).

Архитектура интегрированной информационной системы включает в себя следующие составляющие:

1) *объектная модель БД* – представляет собой набор классов, соответствующих таблицам БД. Хранимые процедуры представлены функциями;

2) *репозитории* – изолируют друг от друга разнородные данные и включают в себя механизмы управления этими данными. Например,

репозиторий ветрогенераторов включает функции по выборке, редактированию, удалению и подбору соответствующих установок для объектов, а также расчету энергоэффективности указанного оборудования;

3) *Web API-контроллеры* – возвращают и принимают данные в «сыром» виде (применяется *JSON*). Обработкой и отображением данных занимается клиентское приложение (применяется *JavaScript*). Используются контроллеры указанного типа, так как картографический интерфейс требует работы без перезагрузки Web-страницы;

4) *MVC-контроллеры* – формируют готовые Web-страницы и возвращают их пользователю.

Таким образом, произведен выбор современных технологий и средств для оптимальной технической реализации ИИСАПВИЭ и предложена архитектура указанной системы, которая открыта для расширения и реализации соответствующей функциональности, в частности разработки соответствующих алгоритмов и программных модулей взаимодействия с БД и графического пользовательского интерфейса в составе указанной системы.

Алгоритмы хранимых процедур и пользовательских функций БД

Для выполнения как аналитических расчетов на основе информации, хранящейся в БД, так и предоставления непосредственно самих данных, программный код, выполняющий указанные операции, может быть размещен как на стороне сервера, так и на стороне клиента. Однако, учитывая, что создаваемая информационная система – сетевой ресурс, то программный код, оперирующий данными, необходимо разместить как можно «ближе» к самим обрабатываемым данным, что позволяет избежать пересылки через сеть множества команд и, в особенности, необходимости передачи больших объемов данных от клиента на сервер. Например, *Microsoft SQL Server* предоставляет возможность разместить программный код на стороне сервера в виде *хранимых процедур, пользовательских функций и представлений*, содержащихся в БД.

Для запланированных пользовательских функций разработаны алгоритмы расчета, которые будут реализованы посредством декларативного языка *T-SQL*. В качестве примера на рис. 2 представлен алгоритм работы пользовательской функции, рассчитывающей энергетическую эффективность солнечных батарей.

Оформление кода в виде пользовательских функций существенно упрощает разработку БД, так как позволяет встраивать вызовы этих функций непосредственно в запросах, а также позволяет избежать повторяющегося кода и существенно упрощает чтение кода запросов.

Хранимые процедуры, как и пользовательские функции, представляют собой набор SQL-инструкций, который хранится в БД. Однако

хранимые процедуры, отличаются от функций тем, что в них допускается использование выходных параметров только целочисленного типа. Использование хранимых процедур позволяет повысить производительность, расширить возможности программирования и поддерживать функции безопасности данных.

Как серверные программы, хранимые процедуры имеют ряд преимуществ:

- хранятся в скомпилированном виде – поэтому выполняются быстрее, чем пакеты или запросы;

- выполнение обработки данных на сервере, а не на рабочей станции, что значительно уменьшает трафик и снижает нагрузку на вычислительную сеть;

- имеют модульный вид, поэтому их легко внедрять и изменять. Если клиентское приложение вызывает хранимую процедуру для выполнения некоторой операции, то модификация процедуры в одном месте влияет на ее выполнение у всех пользователей;

- хранимые процедуры можно рассматривать как важный компонент системы безопасности БД. Если все клиенты осуществляют доступ к данным с помощью хранимых процедур, то прямой доступ к таблицам может быть запрещен, и все действия пользователей будут находиться под контролем.

Вместо реализации и хранения часто используемого запроса, клиенты могут ссылаться на соответствующую хранимую процедуру, при вызове которой ее содержимое сразу же обрабатывается сервером [4].

В создаваемой БД хранимые процедуры содержат запросы на получение и изменение данных и инкапсулируют вызов пользовательских функций (ввиду того, что пользовательские функции не могут быть вызваны напрямую из ASP.NET-приложения). Поэтому при вызове пользовательской функции, необходимо вызвать соответствующую хранимую процедуру, инкапсулирующую вызываемую функцию.

В качестве примера можно рассмотреть *boiler_function* – хранимую процедуру по вызову функции расчета эффективности использования котельного оборудования. Данная функция осуществляет разбор входного XML-параметра (формируется клиентом при определении породного состава биомассы) с последую-

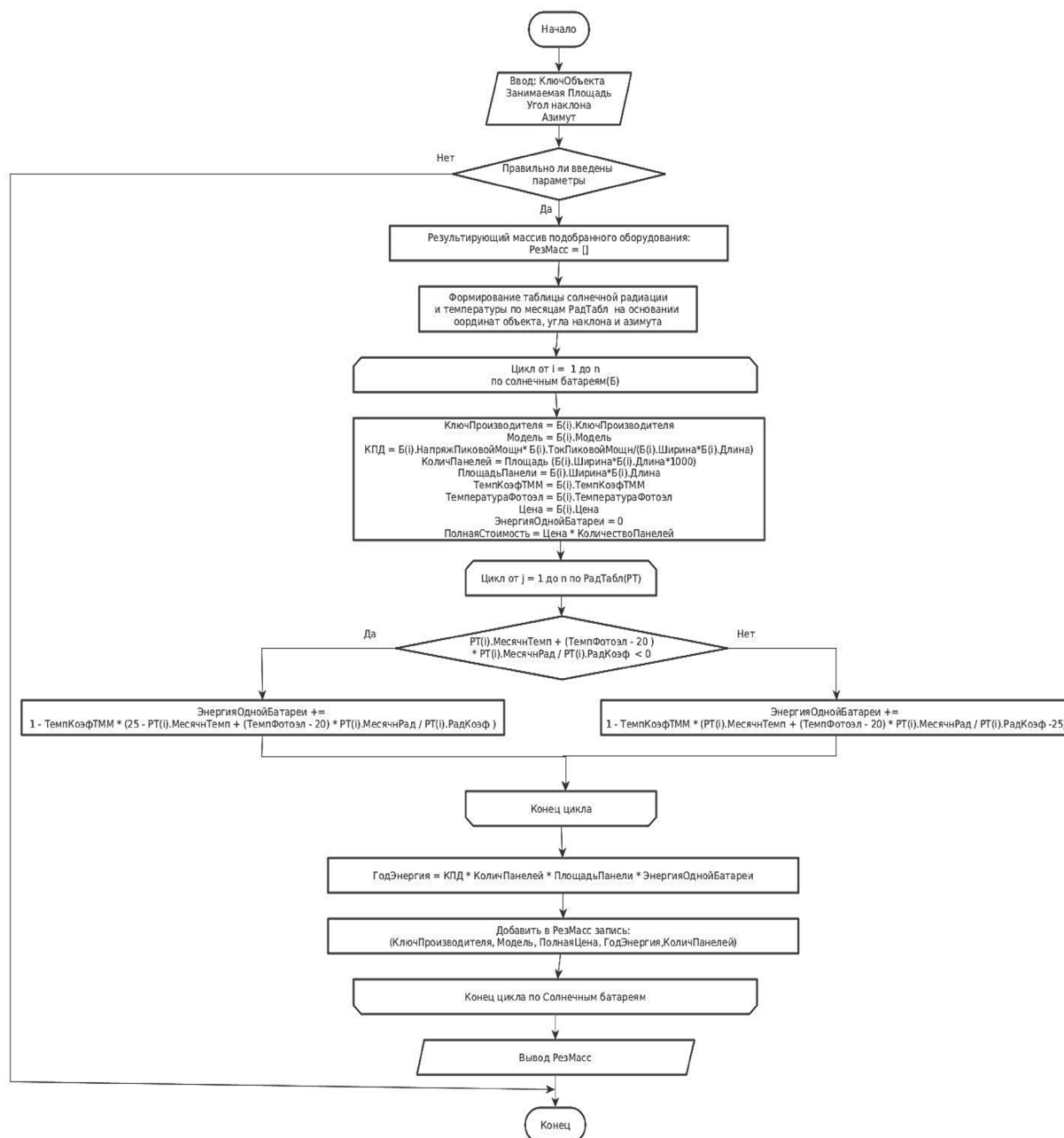


Рис. 2. Алгоритм работы пользовательской функции, рассчитывающей энергетическую эффективность солнечных батарей

щим занесением разобранных данных в таблицу *Session_BiomassType*. Далее производится вызов пользовательской функции *blrs* с передачей соответствующих параметров. Вызов сопровождается получением результирующей таблицы из функции и удалением временных данных из таблицы *Session_BiomassType*.

Также на основе написанных ранее пользовательских функций создана хранимая процедура *all_energy*, выполняющая оценку эффективности использования всего хранимого в БД

оборудования. Эта процедура производит поочередный вызов пользовательских функций с передачей в них усредненных параметров, получает результат их работы и предоставляет пользователю среднее значение эффективности использования каждого вида оборудования, хранимого в БД.

Таким образом, использование хранимых процедур позволяет не только обеспечить простоту доступа к данным, но и защитить их от несанкционированного доступа.

Алгоритмы работы Web-приложения и его взаимодействие с БД

Механизм доступа к данным в приложении реализован с использованием библиотеки *Entity Framework*. Использовать объектную модель, сгенерированную с помощью этой библиотеки, напрямую не очень удобно по следующим причинам:

1) код пользовательского интерфейса становится трудно читаемым из-за большого количества кода, необходимого для получения данных из БД;

2) информация о механизме доступа к данным раскрывается в пользовательском интерфейсе, что может повлечь проблемы при изменении источника данных.

Решить эту проблему можно с помощью использования шаблона проектирования «Репозиторий». Под репозиторием можно понимать хранилище данных, содержащее методы для извлечения и обработки этих данных. Реализация такого шаблона подразумевает разделение приложения на слои:

- слой доменных данных;
- слой, отвечающий за логику работы с доменными данными.

Использование дополнительного слоя между слоем доступа к данным и слоем представления дает большие преимущества. Например, при изменении используемой системы управления базами данных, редактированию подвергнется только код в промежуточном слое данных, а код представления затронут не будет. Приложение становится более гибким и легко адаптируется к изменениям [5].

За слой данных в разрабатываемом приложении отвечает объектная модель, сгенерированная с помощью *Entity Framework*, а слой, отвечающий за логику работы с доменными данными, реализован с помощью шаблона проектирования «Репозиторий».

Для работы с объектами на карте создан класс *EFLocationsRepository*, который реализует интерфейс *ILocationsRepository*. Этот интерфейс содержит соответствующий набор определений методов для работы с объектами, хранящимися в БД.

Для работы с каждым типом оборудования, использующим ВИЭ, создано свое хранилище данных. Например, хранилище *EFSunBatteriesRepository* реализует интерфейс *ISunBatteryRe-*

pository, который содержит определения методов для работы с данными о солнечных батареях, в частности формирования информации для построения диаграммы выработки энергии и графика окупаемости оборудования. Для остальных типов оборудования реализованы аналогичные интерфейсы.

Использование созданного хранилища позволяет существенно облегчить работу с данными в БД, а также уменьшить сложность алгоритмов, которые включают в себя запросы к данным в БД.

Алгоритм подбора оборудования для объекта выполняет как минимум 3 обращения к БД:

- 1) проверка наличия объекта;
- 2) получение ключа объекта;
- 3) вызов процедуры подбора оборудования (рис. 3).

Все эти вызовы будут осуществляться через созданное хранилище, которое инкапсулирует в своих функциях сложное взаимодействие с БД (подготовка входных параметров, обработка результата выполнения запроса и вспомогательные запросы).

Алгоритм создания нового объекта предполагает как минимум 3 обращения к БД:

- 1) проверка наличия в БД области;
- 2) проверка наличия в БД региона;
- 3) сохранение объекта (рис. 4).

Все указанные действия будут инкапсулированы в методе хранилища. В дальнейшем для того, чтобы добавить объект в БД, можно будет просто воспользоваться созданным методом, передав ему необходимые параметры, и получить ответ в виде ключа созданного объекта или кода ошибки, если она возникла при создании объекта.

Таким образом, использование шаблона проектирования «Репозиторий» позволяет абстрагироваться от сложных запросов к БД, а также делает приложение более гибким, то есть легко адаптируемым к изменениям.

Взаимодействие клиентской и серверной части Web-приложения

Для того, чтобы упорядочить доступ к данным в клиентской части картографического модуля, реализованы клиентские сервисы для доступа к данным на сервере через интерфейс *Web API*. В клиентской части приложения использовался JavaScript-фреймворк *AngularJS*,

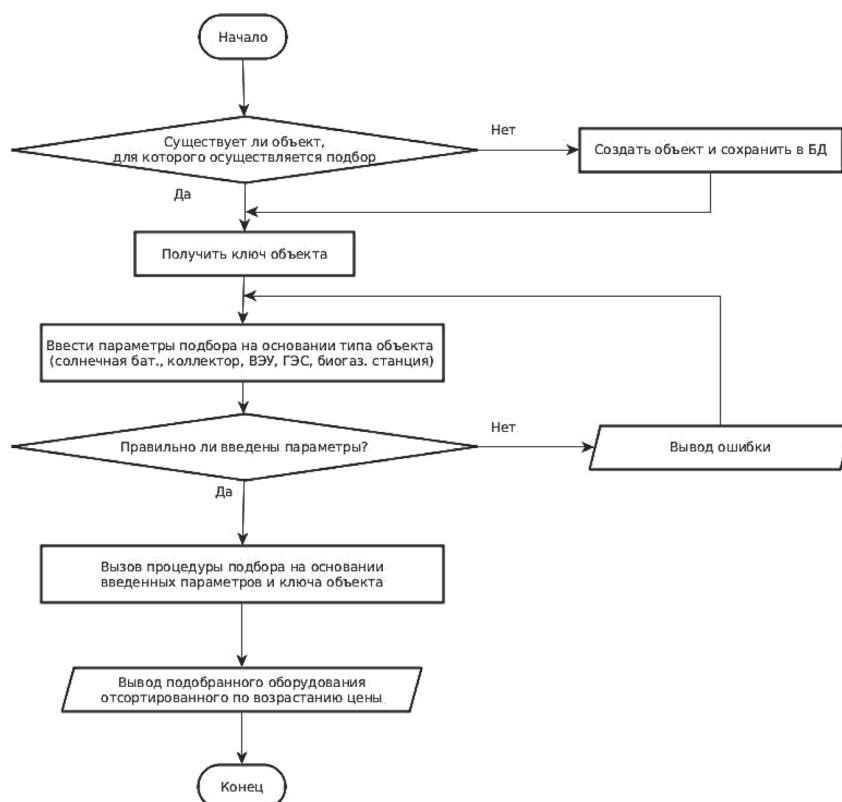


Рис. 3. Алгоритм подбора оборудования для объекта

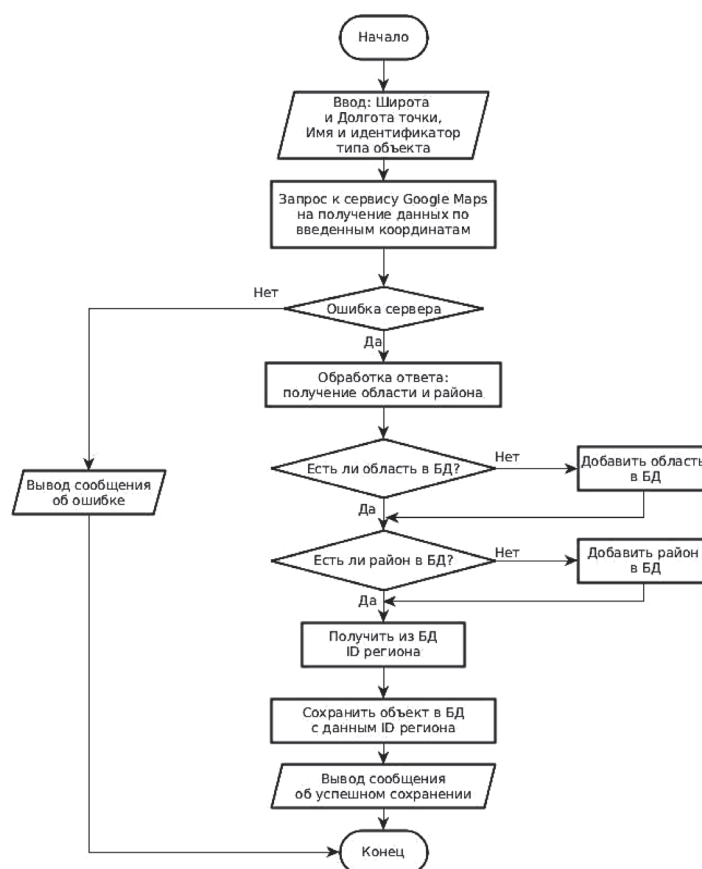


Рис. 4. Алгоритм добавления нового объекта

который позволяет легко создавать сервисы для доступа к данным на сервере.

Сервисы AngularJS представляют специальные объекты или функции, выполняющие некоторые общие для всего приложения задачи. В AngularJS имеются ряд встроенных сервисов, такие как *\$http*, *\$q* и ряд других. Кроме того имеется возможность создавать свои сервисы для выполнения специфических задач по реализации определенной логики (бизнес логики) приложения, обеспечению коммуникации между виджетами, поддержке уровня данных и формированию запросов к серверу, хранению состояния и так далее. В разрабатываемой клиентской части для работы с картографической информацией большое значение имеет модуль, в котором определяется сервис *MarkersService*, представляющий уровень данных и выполняющий запросы к серверу. Модули являются основной формой организации приложений в AngularJS. Модуль представляет хранилище различной информации: директив, фильтров, контроллеров и так далее [6]. Таким образом, разрабатываемое приложение разделено на 3 модуля:

- 1) основной модуль;
- 2) модуль, содержащий сервисы приложения;
- 3) модуль, содержащий контроллеры приложения.

MarkersService использует в своей работе стандартный сервис AngularJS *\$http*, который предназначен для взаимодействия с удаленным *HTTP-сервером* через объект *XMLHttpRequest* или через JSONP. Для использования указанного сервиса в приложении его нужно включить в главный модуль.

Кроме модуля с сервисами и модуля с контроллерами в главный модуль включаются еще и сторонние библиотеки (модули) для:

- *ngMap* – работы с картами *Google*;
- *ui.bootstrap* – работы с *Bootstrap*;
- *ngAnimate* – создания анимационных эффектов на странице;
- *blokUI* – блокирования страницы пользователя в моменты выполнения различных запросов к серверу, когда совершение действий на странице не желательно.

Сервис *markersService* содержит объявления 2 ключевых классов для работы пользовательской части приложения:

– *Marker* – хранит такую информацию об объектах на карте как географические координаты объекта, тип объекта, оборудование, установленное на объекте и так далее. Также для указанного класса добавлены методы для работы с оборудованием, установленном на определенном объекте (маркере): *getEquipment*, *addEquipment*, *deleteEquipment* и *updateEquipment*. Для задания классов JavaScript использовался прототипный подход, то есть создавался конструктор указанного класса. Затем к прототипу этого класса добавлялись его методы и свойства, например метод *addEquipment*, взаимодействующий с API сервера [7];

– *Equipment* – хранит информацию о конкретной модели оборудования на объекте. Один объект, представляемый этим классом, может содержать несколько экземпляров класса *Equipment*.

В сервис *markersService* кроме классов *Equipment* и *Marker* включены методы для работы с классом *Marker* по добавлению (без отправки на сервер), удалению и обновлению объекта, отправке информации о новом объекте серверу для сохранения и изменению типа объекта [8].

Таким образом, разработаны программные механизмы для взаимодействия клиентской и серверной части Web-приложения с реализацией соответствующих сервисов.

Заключение

В результате проведенных исследований разработана архитектура ИСАПВИЭ и осуществлен выбор технологий и средств ее реализации, а также предложены алгоритмы программных модулей и их взаимодействия в составе указанной системы. Отличительной особенностью архитектуры явились гибкость и открытость для расширения и реализации дополнительной функциональности, в частности разработки специальных алгоритмов и программных модулей взаимодействия с БД и графического Web-ориентированного пользовательского интерфейса, предоставляющего возможность работы с картографической информацией. Результаты проведенных исследований и выполненных разработок могут быть использованы в системе Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды РФ, в частности для ведения государственного кадастра ВИЭ и принятия управленческих решений [9, 10].

Литература

1. **Кундас, С. П.** Возобновляемые источники энергии / С. С. Позняк, Л. В. Шенец. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. – 390 с.
2. **Wakeyama, T.** Renewable Energy Potential Evaluation and Analysis for Use by Using GIS – A Case Study of Northern-Tohoku Area and Tokyo Metropolis / T. Wakeyama, S. Ehara // International Journal of Environmental Science and Development. – 2010. Vol. 1, N. 5. – P. 446–453.
3. **Samuta, H.** Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System / H. Samuta, Y. Uchiyama, K. Okajima // Journal of International Council on Electrical Engineering. 2012. Vol. 2, N. 4. – P. 403–408.
4. **Петкович, Д.** Microsoft SQL Server 2012. Руководство для начинающих / Д. Петкович. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2013. – 816 с.
5. **Фримэн, Э.** Паттерны проектирования / Э. Фримэн, Э. Фримэн. – Санкт-Петербург: Питер, 2011. – 645 с.
6. **Резиг, Д.** JavaScript для профессионалов / Д. Резиг, Р. Фергюсон, Д. Пакстон. – 2-е изд.: пер. с англ. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2016. – 240 с.: ил. – Парал. тит. англ., с. 26.
7. **Макконнел, С.** Совершенный код / С. Макконнел. – Санкт-Петербург: Питер, 2005. – 868 с.
8. **Троелсен, Э.** Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5 / Э. Троелсен. – 6-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1312 с.: ил.
9. **Moroz, A. E.** Integrated information system for analysis of potential of renewable energy sources / A. E. Moroz, D. A. Chemerevskiy, V. A. Antonova, B. A. Tonkonogov // Actual environmental problems: Proceedings of the VI International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students, November 24 - 25, 2016, Minsk, Republic of Belarus / ISEI BSU; the general editorship: Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor S. A. Maskevitch, Doctor of Agricultural Sciences, Professor S. S. Poznjak. – Minsk: PPTUE “Kolorgrad”, 2016. – 220 p. – P. 196–197.
10. **Кундас, С. П.** Архитектура интегрированной информационной системы для анализа потенциала возобновляемых источников энергии / С. П. Кундас, Б. А. Тонконогов, А. Е. Мороз // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2017: environmental problems of the XXI century: материалы 17-й международной научной конференции, 18 - 19 мая 2017 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: С. Е. Головатый [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – Ч. 2. – 264 с. – С. 240–242.

References

1. **Kundas, S. P.** Renewable energy sources / S. S. Poznyak, L. V. Shenets. – Minsk: ISEU, 2009. – 390 p.
2. **Wakeyama, T.** Renewable Energy Potential Evaluation and Analysis for Use by using GIS – A Case Study of Northern-Tohoku Area and Tokyo Metropolis / T. Wakeyama, S. Ehara // International Journal of Environmental Science and Development. – 2010. Vol. 1, N. 5. – P. 446–453.
3. **Samuta, H.** Evaluation for the Adoption of Renewable Energy in China using Geographic Information System / H. Samuta, Y. Uchiyama, K. Okajima // Journal of International Council on Electrical Engineering. 2012. Vol. 2, N. 4. – P. 403–408.
4. **Petkovich, D.** Microsoft SQL Server 2012. Beginner's Guide / D. Petkovich. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2013. – 816 p.
5. **Freeman, E.** Design Patterns / E. Freeman, E. Freeman. – St. Petersburg: Piter, 2011. – 645 p.
6. **Resig, D.** JavaScript for professionals / D. Resig, R. Ferguson, D. Paxton. – 2-d ed.: tran. from eng. – M.: LLC “P. H. Vil'yams”, 2016. – 240 p.: il. – Paral. tit. eng., p. 26.
7. **McConnell, S.** Perfect code / S. McConnell. – St. Petersburg: Piter, 2005. – 868 p.
8. **Troelsen, E.** C# 5.0 programming language and .NET 4.5 platform / E. Troelsen. – 6-th ed. – M.: Vil'yams, 2013. – 1312 p.: il.
9. **Moroz, A. E.** Integrated information system for analysis of potential of renewable energy sources / A. E. Moroz, D. A. Chemerevskiy, V. A. Antonova, B. A. Tonkonogov // Actual environmental problems: Proceedings of the VI International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students, November 24 - 25, 2016, Minsk, Republic of Belarus / ISEI BSU; the general editorship: Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor S. A. Maskevitch, Doctor of Agricultural Sciences, Professor S. S. Poznjak. – Minsk: PPTUE “Kolorgrad”, 2016. – 220 p. – P. 196–197.
10. **Kundas, S. P.** Architecture of integrated information system for analysis of potential of renewable energy sources / S. P. Kundas, B. A. Tonkonogov, A. E. Moroz // Sakharov readings 2017: environmental problems of the XXI century: materials of the 17th international scientific conference, 18 - 19 May 2017, Minsk, Republic of Belarus: in 2 p. / Internat. Sakharov env. in-t of Bel. sta. un-y; ra.: S. E. Golovaty [et al.]; ed. d-r ph.-m. s., prof. S. A. Maskevich, d-r a. s., prof. S. S. Poznyak. – Minsk: ICC of Ministry of Finance, 2017. – P. 2. – 264 p. – P. 240–242.

Поступила
19.10.2017

После доработки
25.10.2017

Принята к печати
15.12.2017

Tonkonogov B. A., Kundas S. P., Moroz A. E.

ARCHITECTURE AND FUNCTIONALITY OF INTEGRATED INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS OF POTENTIAL OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

The aim of the work was the development of the original architecture of an integrated information system for analysis of the potential of renewable energy sources. The required functionality of system has led to the solution of a number of problems in the development of appropriate software modules that implement methods, models and algorithms for assessing the energy potential and economic efficiency of the use of renewable energy sources (RES). This required the solution of the following problems: adaptation of existing and development of new methods for analyzing the potential of RES at various territorial levels using modern technologies of geographic information systems and computer technologies were accomplished; models for the assessment and calculation of the potential of renewable energy resources were developed; techniques for assessing of the economic effectiveness of decisions made for using of RES were adapted; architecture of the information system was developed and the choice of technologies and means for its implementation was made; algorithms of software modules and their interaction as a parts of the information system were developed. A distinctive feature of the architecture were flexibility and openness for the expansion and implementation of additional functionality, in particular the development of special algorithms and software modules for interacting with the database and a graphical Web-based user interface that provides the ability to work with cartographic information. The development and implementation of this system is a modern up-to-date scientific and practical task, the solution of which will create conditions for increased use of RES in RB and improving the country's energy security. The results of conducted researches and completed developments can be used in the system of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of RB, in particular for maintaining of the state cadastre of RES and making of management decisions.

Keywords: integrated information system, equipment database, energy potential analysis, economic effectiveness analysis, renewable energy sources.



Тонконогов Борис Александрович

Ул. Долгобродская, д. 23 / 1, г. Минск, 220070, Республика Беларусь,
тел. (+375 29) 6300762, e-mail: boristonkonogov@iseu.by

Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

Кандидат технических наук, доцент

Начальник учебно-методического отдела

Проектирование, разработка и внедрение современных информационных систем и технологий в учебный процесс и производство, проведение научных исследований, связанных с математическим и компьютерным моделированием и разработка специализированных учебных курсов по современным информационным системам и технологиям и математическому и компьютерному моделированию



Кундас Семен Петрович

Пр. Независимости, д. 150, г. Минск, 220013, Республика Беларусь,
тел. (+375 29) 6323485, e-mail: kundas@tut.by

Белорусский национальный технический университет

Доктор технических наук, профессор

Профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Научно-исследовательские и научно-методические работы в области эффективного использования возобновляемых источников энергии и моделирования и компьютерного прогнозирования состояния окружающей среды в условиях радиационного загрязнения, создание демонстрационной площадки и центра возобновляемых источников энергии, подготовка специалистов в области менеджмента возобновляемых энергетических ресурсов, разработка автоматизированных информационно-аналитических систем по принятию решений в области использования возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь, методов прогнозирования с использованием нейросетевых технологий и технологий географических информационных систем, систем управления

базами данных и разработка нормативно-правовых документов в области возобновляемых источников энергии.



Мороз Алексей Евгеньевич

Ул. Кульман, д. 9, г. Минск, 220010, Республика Беларусь,

тел. (+375 44) 5886513, e-mail: marozaliaksei@gmail.com

ООО «Сенсотроника» Инженер-программист

Проектирование и разработка баз данных и программного обеспечения для анализа использования возобновляемых источников энергии и встраиваемых систем.

Государственная программа научных исследований «Информатика, космические исследования и научное обеспечение безопасности человека, общества и государства», подпрограмма 1 «Информатика и космические исследования», задание 1.3.06 «Методы и алгоритмы построения интегрированной информационной системы для анализа потенциала возобновляемых источников энергии» (№ госрегистрации – 20161541, дата регистрации – 17.05.2016)

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT OF
TECHNICAL OBJECTS**

УДК 517.977

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

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ФОРСИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача аналитического синтеза управляющего сигнала линейной динамической системы. В качестве критерия оптимизации предлагается рассматривать время перехода системы из начального состояния в заданное конечное состояние. Такой вид управления называется форсированным, обеспечивающим максимальное быстродействие системы. Рассматривается решение данной задачи на основе применения неопределенных множителей Лагранжа и принципа максимума Понтрягина. Получены выражения для матрицы переходов системы и управляющего сигнала в векторном виде.

В качестве примера для оценки работоспособности предлагаемой методики рассматривается электропривод, описываемый широко распространенной математической моделью второго порядка. Представлены качественные иллюстрации работоспособности предлагаемого подхода, полученные путем моделирования в среде Mathcad и количественные характеристики изменения входных и выходных сигналов гипотетической системы управления. Показано, что применение форсированного управления не приводит к выходу переменных, характеризующих состояние системы, за пределы допустимых значений.

Применение форсированного управления позволяет синтезировать закон управления в виде последовательности прямоугольных импульсов постоянной амплитуды, определяемой источником питания, переменной скважности и полярности. Такой подход может быть использован при управлении вентильными электродвигателями постоянного тока, применяемыми в различных системах слежения, применяемых на беспилотных летательных аппаратах.

Ключевые слова: форсированное управление, целевая функция, электрический привод, последовательность импульсов.

Введение

Среди автоматических систем, в которых ключевое место занимают электрические приводы, необходимо выделить беспилотные летательные аппараты (БЛА), интенсивно завоевывающие своё место в различных областях применения [1]. Одной из основных задач БЛА является мониторинг земной поверхности или объектов, находящихся на земле. Для решения задач мониторинга на подвижной платформе, имеющей две степени свободы относительно корпуса БЛА, устанавливается оптическая или радиотехническая аппаратура. Управление (разворот) подвижной платформы относительно корпуса БЛА осуществляется специальным, как правило, электрическим приводом.

Среди электрических приводов широкое распространение имеют вентильные электрические двигатели [2], в которых в качестве входного сигнала используется последователь-

ность прямоугольных импульсов. Управление такими приводами заключается в том, что по определенному закону изменяются параметры этой управляющей последовательности импульсов: длительность и период следования. При этом в большинстве задач амплитуда импульсов остается постоянной, определяемой источником постоянного тока. Математические модели таких систем включают в себя как непрерывные, так и дискретные функции времени, что позволяет отнести эти модели к классу гибридных (непрерывно-дискретных) систем.

В работе [3] рассмотрены вопросы математического моделирования гибридных электротехнических систем на основе использования дифференциальных уравнений, включающих специальные функции, позволяющие учитывать дискретизацию сигналов управления в конкретные моменты времени. В работе [4] решается задача импульсного управления ги-

бридной электротехнической системой путём аналитического синтеза закона управления на основе непрерывной дифференциальной модели с последующей дискретной реализацией полученного закона управления в виде последовательности прямоугольных импульсов постоянной амплитуды и переменной скважности.

Задачи аналитического синтеза управления при линейной математической модели системы для различных функционалов качества достаточно изучены. В общем случае большинство практических задач сводится к рассмотрению задачи минимизации функционала качества, включающего в себя терминальную и интегральную составляющие, характеризующие конечную цель управления и потери (затраты энергии) в процессе управления. Представляет практический интерес задача формирования последовательности импульсов для оптимального управления электрическим приводом, применяемым в системе мониторинга наземных объектов БЛА. При этом при постоянной амплитуде управляющих импульсов, определяемой источником постоянного тока, необходимо определить, чем управлять, то ли длительность импульсов, периодом следования, или тем и другим. Решение данной задачи может быть получено с помощью аналитического синтеза управления по критерию максимального быстродействия. Полученный закон управления в данном случае называется форсированным управлением. В некоторых источниках такое управление носит название «банг-банг» управление [5]. Методы реализации такого управления известны при детерминированных начальном и конечном состояниях объекта управления без случайных возмущений и при учете ограничений на максимальное значение управления.

Форсированное управление обеспечивает максимальное быстродействие регуляторов, функционирующих на основании использования измерений переменных, характеризующих состояние системы. Так как эти измерения, как правило, имеют ошибки в виде случайных составляющих выходных переменных, то в общем случае следует рассматривать стохастическую постановку задачи синтеза управления. Учитывая, что для линейных объектов справедлива так называемая теорема разделения [5, 6], следовательно, задачи оптимального оце-

нивания фазовых координат управляемой системы и синтеза оптимального закона управления можно решать последовательно.

Известно, что форсированное управление может применяться при управлении траекторией летательного аппарата, при управлении энергетическими или другими промышленными установками [6].

Решение задачи управления. Рассмотрим общую математическую постановку задачи. Пусть объект управления описывается векторным уравнением в канонической форме вида [6, 7]

$$\dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)U(t), \quad X(t_0) = X_0. \quad (1)$$

$X(t)$ – n -мерный вектор фазовых координат системы, $U(t)$ – вектор управлений размерности $m \leq n$, $A(t)$ и $B(t)$ – матрицы известных коэффициентов.

На конечное состояние объекта управления наложено ограничение $X(t_k) = X_k$. Требуется определить вектор оптимального управления $U(t)$, обеспечивающий перевод объекта управления из начального состояния X_0 в конечное состояние X_k за минимальное время $t_k - t_0$ с учетом того, что максимальные значения компонент вектора управлений ограничены значениями $U_{i\max}$ ($i = 1, m$). Минимизируемый функционал качества (целевая функция) при этом имеет вид

$$J = \int_{t_0}^{t_k} dt = t_k - t_0. \quad (2)$$

В данной постановке задачу удобно решать, используя принцип максимума Понтрягина. При этом вводится в рассмотрение новая $(n+1)$ -я фазовая координата X_{n+1} , удовлетворяющая уравнению

$$\dot{X}_{n+1} = 1, \quad X_{n+1}(t_0) = t_0. \quad (3)$$

Согласно принципу максимума [8] оптимальное управление должно доставлять максимум функции Гамильтона $H = H(X, U, \lambda, t)$, имеющей в данном случае вид

$$H(X, U, \lambda, t) = 1 + \lambda^T(t)A(t)X(t) + \lambda^T(t)B(t)U(t). \quad (4)$$

В выражении (4) $\lambda(t)$ – вектор неопределенных множителей Лагранжа, определяемых ограничениями, накладываемыми конечным состоянием системы управления.

Из выражения (4) следует, что необходимое условие максимума функции H по отношению к скалярным компонентам управления $U_i = U_i(t) \in U(t)$ определяется выражением

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i U_i > 0, |U_i| = U_{i\max}. \quad (5)$$

Функция Гамильтона (4) в данном случае имеет вид

$$H(X, U, \lambda, t) = 1 + \lambda^T(t) A(t) X(t) + |\lambda^T(t) B(t)| U_{\max}(t), \quad (6)$$

а оптимальное управление, минимизирующее гамильтониан (6), и соответственно функционал (2) определяется формулой [8, 9]

$$U(t) = -U_{\max} \operatorname{sign}[\lambda^T(t) B(t)]. \quad (7)$$

В соответствии с принципом максимума канонические уравнения Понтрягина в данном случае имеют вид [5, 8]

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= \frac{\partial H}{\partial \lambda} = \\ &= A(t) X(t) - B(t) U_{\max} \operatorname{sign}[\lambda^T(t) B(t)], \end{aligned} \quad (8)$$

$$X(t_0) = X_0,$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial X} = -A^T(t) \lambda(t), \quad \lambda(t_k) = \lambda_k. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) имеет вид

$$\lambda(t) = \lambda(t_k) e^{-A^T(t-t_k)}. \quad (10)$$

Управление электродвигателем. Применим данный метод определения оптимального управления к математической модели электродвигателя, которая описывается известной системой дифференциальных уравнений [2, 10].

$$\dot{\varphi} = \omega, \quad \varphi(t_0) = \varphi_0, \quad (11)$$

$$\dot{\omega} = -\alpha \omega + b u, \quad \omega(t_0) = \omega_0. \quad (12)$$

Здесь φ – угол поворота ротора двигателя, ω – угловая скорость поворота, $\alpha = 1/T$, $b = K/T$, T – постоянная времени, K – обобщенный коэффициент усиления электродвигателя.

В матричной форме задача имеет вид

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t), \quad \begin{bmatrix} \varphi(t_0) \\ \omega(t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_0 \\ \omega_0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Матрица переходов в соответствии с (10) в данном случае имеет вид

$$e^{At} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{\alpha}(1 - e^{-\alpha t}) \\ 0 & e^{-\alpha t} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

а оптимальное форсированное управление в соответствии с (7) в данном случае вычисляется по формуле [5]

$$u(t) = -U_{\max} \operatorname{sign} \left[\varphi(t) + \frac{1}{\alpha} \omega(t) - \left\{ \frac{\operatorname{sign}[\omega(t)]}{\alpha^2} \right\} \left\{ \ln[1 + \alpha |\omega(t)|] \right\} \right]. \quad (15)$$

На рис. 1, 2 представлены результаты моделирования системы (11)–(12) при управлении (15), полученные в следе Mathcad при решении дифференциальных уравнений, описывающих состояние гипотетической системы управления, методом Эйлера. На рис. 1 – графики изменения $\varphi(t)$, $\omega(t)$, $u(t)$ при следующих начальных условиях: $\varphi(0) = 1$, $\omega(0) = -0.5$, $u(0) = 0$, $\alpha = 1$, $U_{\max} = 0.6$.

На рис. 2 представлены графики изменения $\varphi(t)$, $\omega(t)$, $u(t)$ при следующих начальных условиях: $\varphi(0) = 1$, $\omega(0) = -0.5$, $u(0) = 0$, $\alpha = 2$, $U_{\max} = 2$.

Из рис. 1, 2 видно, что, не смотря на скачкообразное изменение управляющего сигнала $u(t)$, выходной сигнал $\varphi(t)$ не претерпевает резких изменений по причине инерционности системы, обусловленной её конструктивными особенностями. Путем изменения постоянной времени привода, характеризуемой коэффициентом α , или напряжения питания $U_{\max}$ можно получить необходимые характеристики переходных процессов конкретной гибридной системы управления.

Заключение

Приведенные теоретические положения и результаты математического моделирования показывают, что при постановке и решении задачи форсированного управления управляющий сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов переменной полярности с заданной амплитудой и переменной длительностью. Это может быть использовано при управлении вентилями электродвигателями постоянного тока, применяемыми в различных системах слежения такими, как радиолокаторы, следящие телекамеры и т. п.

В данном случае наглядно присутствует такая особенность форсированного управления, как наличие знакопеременных импульсов в установившемся режиме после окончания процесса управления (рис. 1, 2), что может на практике приводить к нежелательным результатам, например – к преждевременному разряду аккумулятора постоянного тока. Такого

рода нежелательные явления могут быть устранены различными инженерными конструктивными решениями, например, отключением $U(t)$ при $|X(t) - X_k| \leq \varepsilon$, где X_k – конечная точка фазовых координат рассматриваемой системы после окончания управления, ε – величина, характеризующая заданную точность решения задачи управления.

Литература

1. **Беспилотные** летательные аппараты. Основы устройства и функционирования / под ред. И. С. Голубева, И. К. Туркина. – М.: МАИ, 2010. – 654 с.
2. **Терехов, В. М.** Системы управления электроприводов / В. М. Терехов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
3. **Лобатый, А. А.** Математическое моделирование гибридных электротехнических систем / А. А. Лобатый, Ю. Н. Петренко Ю. Н., А. Эльзейн, А. С. Абуфанас // Наука и техника. – 2016. – № 4. – С. 322–328.
4. **Лобатый, А. А.** Импульсное управление гибридной электротехнической системой / А. А. Лобатый, Ю. Н. Петренко Ю. Н., А. Эльзейн, А. С. Абуфанас // Системный анализ и прикладная информатика, 2016. № 4(12). С. 46–51.
5. **Сейдж, Э. П.** Оптимальное управление системами / Э. П. Сейдж, Ч. С. Уайт. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.
6. **Синтез регуляторов систем автоматического управления** / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 616 с.
7. **Теория систем автоматического управления** / под ред. В. Л. Бесекерского, Е. П. Попова. – М.: Изд. Санкт-Петербурга, 2003. – 747 с.
8. **Казаков, И. Е.** Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
9. **Брайсон, А.** Прикладная теория оптимального управления / А. Брайсон, Хо Ю-ши. – М.: Мир, 1972. – 544 с.
10. **Гульков, Г. И.** Системы автоматического управления электроприводами / Г. И. Гульков, Ю. Н. Петренко, Т. В. Бачило; под общ. ред. Ю. Н. Петренко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 366 с.

References

1. **Unmanned aerial vehicles. Fundamentals of the device and functioning** / ed. I. S. Golubeva, I. K. Turkina. – Moscow: MAI, 2010. – 654 p.
2. **Terekhov, V. M.** Control systems of electric drives / B. M. Terekhov. – M.: Publishing Center «Academy», 2006. – 304 p.
3. **Lobaty, A. A.** Mathematical modeling of hybrid electrotechnical systems / A. A. Lobaty, Yu. N. Petrenko Yu. N., A. Elzey, A. S. Abufanas // Science and Technology. – 2016. – No. 4. – P. 322–328.
4. **Lobaty, A. A.** Impulse control of a hybrid electrical system / A. A. Lobaty, Yu. N. Petrenko Yu. N., A. Elzey, A. S. Abufanas // System Analysis and Applied Informatics, 2016. No. 4 (12). Pp. 46–51.
5. **Sage, E. P.** Optimum system management / EP. Sage, C. S. White. – Moscow: Radio and Communication, 1982. – 392 p.
6. **Synthesis of regulators of automatic control systems** / ed. K. A. Pupkov and N. D. Egurovaa. – Moscow: Izd. MSTU them. N. E. Bauman, 2004. – 616 p.
7. **The theory of automatic control systems** / under. Ed. V. L. Besekersky, E. P. Popova. – Moscow: Izd. St. Petersburg, 2003. – 747 p.
8. **Kazakov, I. E.** Methods for optimizing stochastic systems. Kazakov, D. I. Gladkov. – Moscow: Nauka, 1987. – 304 p.
9. **Bryson, A.** Applied theory of optimal control / A. Bryson, Ho Yushu. – Moscow: Mir, 1972. – 544 p.
10. **Gulkov, G. I.** Automatic control systems for electric drives / G. I. Gulkov, Yu. N. Petrenko, T. V. Bachilo; under the Society. Ed. Yu. N. Petrenko. – Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2014. – 366 p.

Поступила
15.09.2017

После доработки
27.09.2017

Принята к печати
15.12.2017

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

ANALYTICAL SYNTHESIS OF FORCED PULSE ELECTRONIC DRIVE CONTROL OF A TRACKING SYSTEM

Belarusian National Technical University

The problem of analytical synthesis of a control signal by a linear dynamical system is considered. As an optimization criterion, it is proposed to consider the transition time of the system from the initial state to a given final state. This type of control is called forced, providing the maximum system speed. The principle of solving this problem is considered on the basis

of application of uncertain Lagrange multipliers and the Pontryagin maximum principle. Expressions are obtained for the matrix of transitions of the system and the control signal in a vector form.

As an example, the electric drive described by the widespread second-order mathematical model is considered to evaluate the efficiency of the proposed method. Qualitative illustrations of the operability of the proposed approach, obtained by modeling in the Mathcad environment, and quantitative characteristics of the change in the input and output signals of the hypothetical control system are presented. It is shown that the use of forced control does not lead to the output of variables characterizing the state of the system, beyond the limits of admissible values.

The use of forced control makes it possible to synthesize the control law in the form of a sequence of rectangular pulses of constant amplitude determined by the power source, variable duty cycle and polarity. This approach can be used for the control of DC-type DC motors used in various tracking systems used on unmanned aerial vehicles. Key words: forced control, target function, electric drive, pulse train. The use of forced control makes it possible to synthesize the control law in the form of a sequence of rectangular pulses of constant amplitude determined by the power source, variable duty cycle and polarity. This approach can be used for the control of DC-type DC motors used in various tracking systems used on unmanned aerial vehicles.

Keywords: forced control, target function, electric drive, pulse train.



Абуфанас Альседык Салем Ахмед

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, e-mail: upnkvk@bntu.by

Abufanas Alseddig Salem Ahmed

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 621.22

С. А. СМИРНОВ, Н. А. ГОРШКОВА

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ НА ПРИМЕРЕ ГИДРОПРИВОДА ПОДЪЁМНО-МАЧТОВОГО УСТРОЙСТВА

Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярёва

Классический подход к проектированию гидроприводов включает в себя сложные расчёты и реальные испытания, что является ресурсоёмким процессом. Сократить затраты на проектирование позволяет внедрение в разработку имитационного моделирования и CAD/CAM/CAE/PDM комплексов автоматизации производственного цикла предприятий. Моделирование позволяет в едином ключе на системной основе использовать методологические достижения теории и практики гидроавтоматики для проектирования гидроустройств, накапливать в упорядоченной форме опыт проектирования и обеспечивать модельное сопровождение жизненного цикла этой продукции. В статье рассматривается современный подход к проектированию гидроприводов. Приведён пример предварительной оценки характеристик гидропривода на примере гидропривода подъёмно-мачтового устройства. На основе требований к подъёмно-мачтовым устройствам выбрана принципиальная и расчётная схемы гидропривода, а также составлена математическая модель. На основе математической модели разработана имитационная модель привода, состоящая из нескольких отдельных частей, связанных между собой. Части представляют собой смешенную структуру из блоков, которые описывают процессы в механических и гидравлических системах. Для визуального отображения создана анимированная 3D модель, которая позволяет наблюдать за ходом и результатами моделирования. В процессе расчётов получены графики зависимости положения каждого звена подъёмно-мачтового устройства от времени, а также давления и расхода на предохранительном клапане. Исходя из результатов моделирования, сделан вывод об адекватности применения моделей для оценки характеристик проектируемого гидропривода в первом приближении. Подобные модели рекомендуется разрабатывать использовать на этапах эскизного и технического проектирования.

Ключевые слова: подъёмно-мачтовое устройство, математическая модель, имитационная модель.

Введение

Применение в боевых действиях современной техники ставит задачу своевременного обнаружения сил противника. Решением является создание комплексов наблюдения, включающих устройства подъёма радиоэлектронной аппаратуры на определённую высоту над корпусом подвижного объекта. Разновидностью таких устройств является подъёмно-мачтовое устройство.

Подъёмно-мачтовое устройство (ПМУ) представляет собой перископический электроили гидроцилиндр, приводимый в действие приводом. На последнем звене цилиндра, которое имеет наименьший диаметр, устанавливается всевозможное радиоэлектронное оборудование (РЭО) и т. п.

В современном проектировании гидроприводов и комплексов, включающих гидроприво-

ды, всё чаще используется моделирование. Модели позволяют частично отойти от реальных экспериментов, распространённых ранее. Кроме того, использование моделей открывает возможности по быстрой оценке характеристик проектируемых объектов и изделий даже при внесении таких крупных изменений как смена типа приводов [1, 3].

Предварительные расчёты подъёмно-мачтового устройства и его привода будут проводиться в соответствии с последовательностью:

1. Разработка принципиальной и расчётной схемы гидропривода;
2. Составление математической модели гидропривода;
3. Построение имитационной модели гидропривода и получение результатов расчётов;
4. Построение трёхмерной модели подъёмно-мачтового устройства.

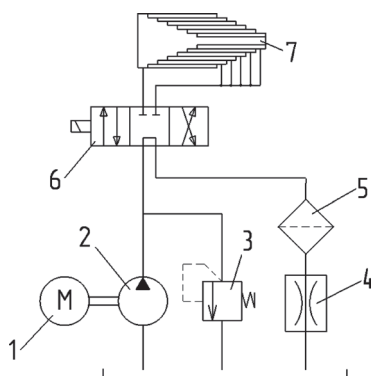


Рис. 1. Гидравлическая принципиальная схема: 1 – двигатель; 2 – нерегулируемый насос; 3 – предохранительный клапан; 4 – нерегулируемый дроссель; 5 – фильтр; 6 – гидрораспределитель; 7 – перископический гидроцилиндр

Выбор принципиальной схемы гидропривода

Для выбора гидравлической принципиальной схемы необходимо сформулировать требования к ПМУ, управляемому гидроприводом. В общем случае к ПМУ должно обеспечивать подъём и опускание установленного не него оборудования, а также удержание его на определённой высоте.

Исходя из этих требований, составляется гидравлическая принципиальная схема (рис. 1).

Гидропривод, соответствующий данной схеме обеспечивает выполнение поставленных задач и содержит минимально необходимый набор гидравлических элементов [5, 6].

На основе принципиальной гидравлической схемы составляется расчётная схема гидропривода (рис 2). На ней обозначается направление потока рабочей жидкости и расход сжимаемости, возникающий в трубопроводах и полостях гидроцилиндра [2].

Математическая модель гидропривода

Математическая модель состоит из множества уравнений, однако стоит отметить основные из них, которые являются топологическими [8, 9].

Согласно расчетной схеме на рис. 2, записывается уравнение неразрывности потока для гидролиний.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_i = 0, \\ Q_H = Q_{кл} + Q_{гц1} + Q_{гц2} + Q_{ф} + Q_{сж1} + \\ + Q_{сж2} + Q_{сж3} + Q_{сж4} + Q_{сжгц1} + Q_{сжгц2}, \end{cases} \quad (1)$$

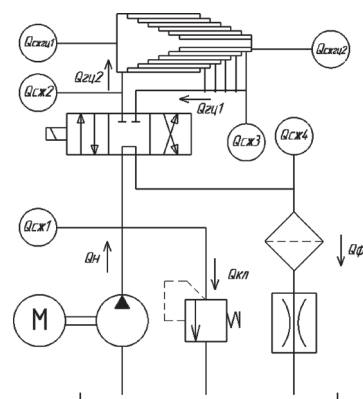


Рис. 2. Расчётная схема гидропривода

где Q_H – расход насоса; $Q_{гц1}$ и $Q_{гц2}$ – расход, идущий на гидроцилиндры; $Q_{кл}$ – расход через клапан; $Q_{сж1-4}$ – расход сжимаемости в трубопроводах; $Q_{сжгц1}$ и $Q_{сжгц2}$ – расход сжимаемости поршневой и штоковой областях гидроцилиндра соответственно.

Математическая модель источника вращения будет учитывать общее свойство всех электродвигателей, не зависимо от их конструкции, и описываться следующим уравнением:

$$\omega = \omega_0 - Mk, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вала двигателя; ω_0 – номинальная угловая скорость вала двигателя; M – крутящий момент сопротивления; k – коэффициент по моменту.

Поршень в гидроцилиндре движется под действием силы, которую можно определить по уравнению (3).

$$F = pA - (F_{тр} + F_{пр} + F_{ин}), \quad (3)$$

где p – давление в гидроцилиндре; A – площадь поршня; $F_{тр}$ – сила трения; $F_{пр}$ – сила противодействия; $F_{ин}$ – сила инерции подвижных частей.

Имитационная модель гидропривода

Укрупнённые части модели (рис. 3) представлены в виде subsystem [4]. Они имеют входные, выходные и общие порты для соединения в единую модель.

Субсистема элементов гидропривода создана с учётом уравнения (1). Современные гидроприводы имеют множество элементов для получения требуемых характеристик. Имитационная модель элементов гидропривода (рис. 4) учитывает сжимаемость жидкости и потерю давления в трубопроводе [7].

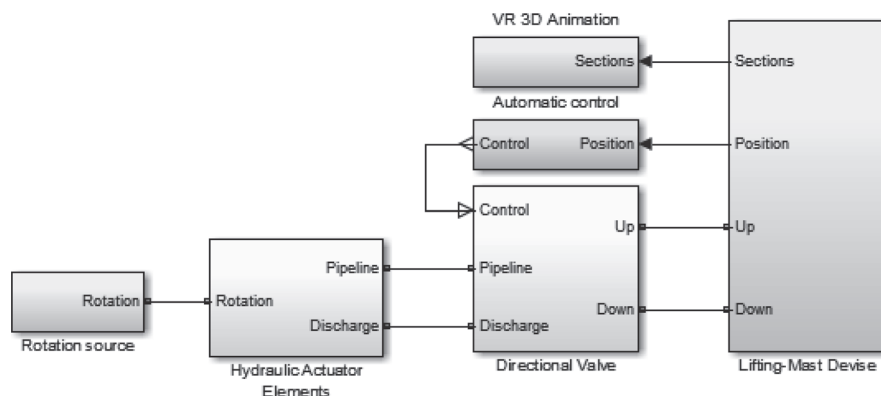


Рис. 3. Имитационная модель гидропривода: *Rotation source* – источник вращения; *Hydraulic Actuator Elements* – элементы гидропривода; *Directional Valve* – гидрораспределитель; *Lifting-Mast Device* – перископический гидроцилиндр; *Automatic control* – система автоматического управления (CAV) с микроконтроллером; *VR 3D-Animation* – трёхмерная модель подъёмно-мачтового устройства

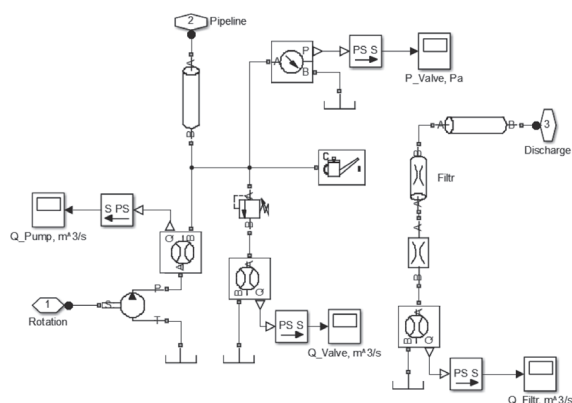


Рис. 4. Субсистема «Hydraulic Actuator Elements»

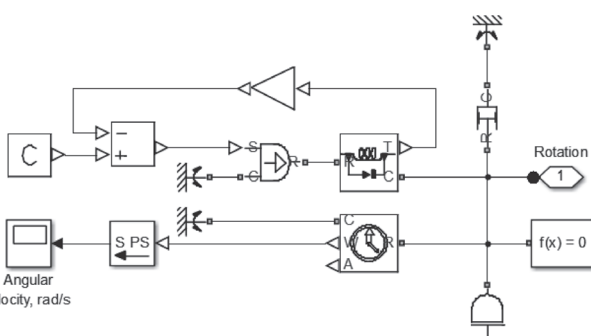


Рис. 5. Субсистема «Rotation source»

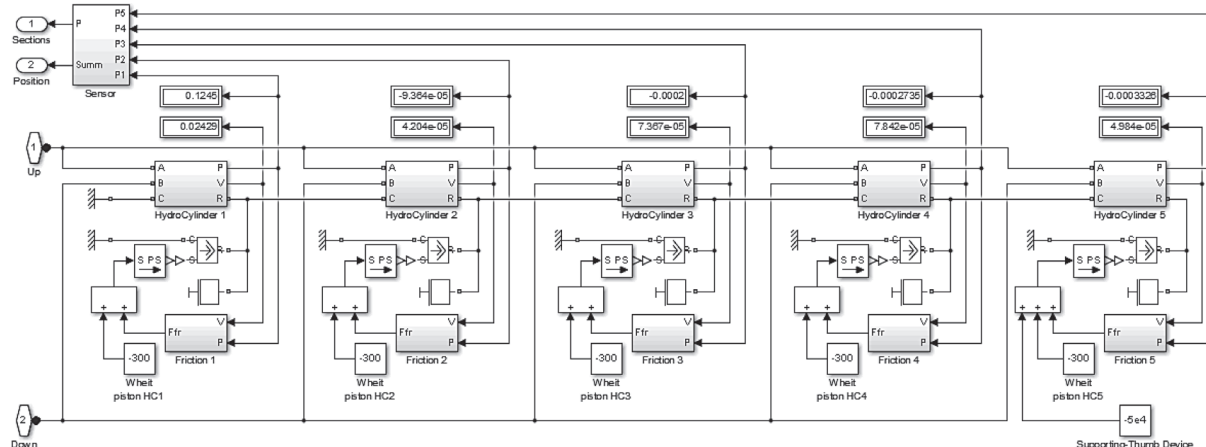


Рис. 6. Субсистема «Lifting-Mast Device»

Для обеспечения вращения насоса используется модель двигателя, учитывающая демпфирование вращательного движения и инерцию движущихся частей. Демпфирование, инерция движущихся частей и сопротивление жидкости в насосе создают крутящий момент сопротивления, направленный противоположно крутящему моменту, создаваемому двигателем.

Модель двигателя (рис. 5) создана на основе уравнения (2).

Имитационная модель перископического гидроцилиндра (рис. 6) состоит из пяти моделей гидроцилиндров и создана с учётом уравнения (3). Каждая модель представляет собой пару цилиндр-шток, шток гидроцилиндра большего радиуса является корпусом сле-

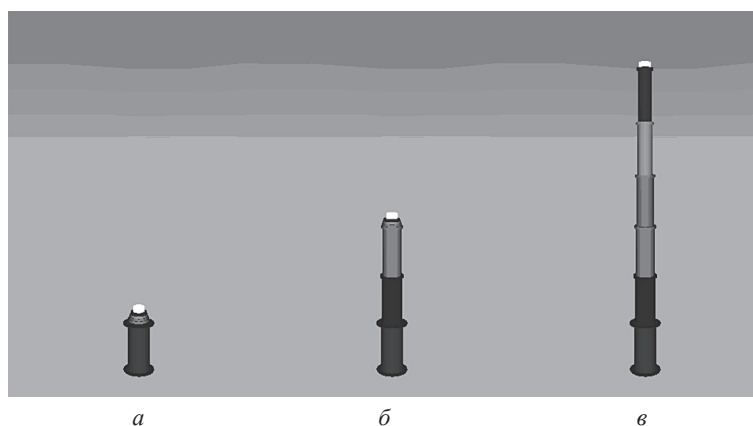


Рис. 7. 3D модели подъёмно-мачтового устройства: *а* – полностью свёрнутое ПМУ; *б* – ПМУ с двумя развёрнутыми звеньями; *в* – полностью развёрнутое ПМУ

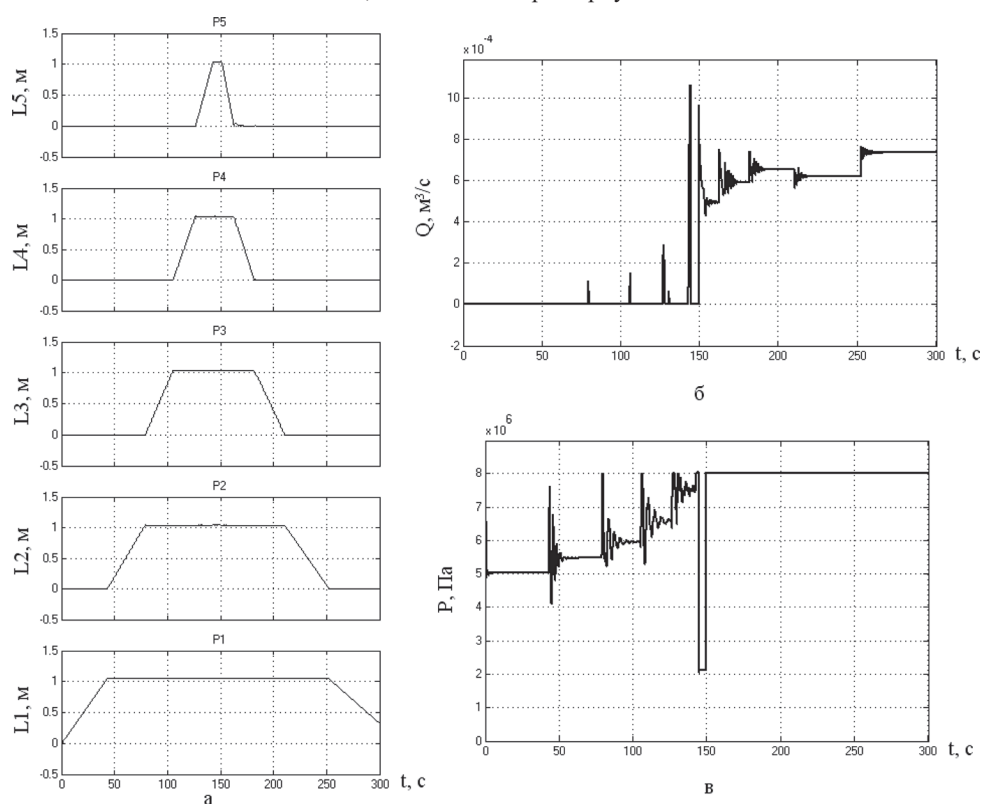


Рис. 8. Графики: *а* – положение каждого звена перископического гидроцилиндра; *б* – расход на клапане; *в* – давление на клапане

дующего за ним гидроцилиндра меньшего радиуса.

Основными исходными данными гидропривода для расчёта модели являются: номинальная скорость вращения вала двигателя 230 рад/с; коэффициент обратной связи по моменту для двигателя 1,2; рабочий объём насоса $5 \cdot 10^{-6}$ м³/с; диаметры ступеней гидроцилиндра 0,22 м, 0,2 м, 0,17 м, 0,15 м, 0,13 м; ход всех ступеней гидроцилиндра 1 м; площадь сечения открытого канала гидрораспределителя $1,2 \cdot 10^{-2}$ м²; давление, при котором клапан полностью открыт

$8 \cdot 10^6$ Па; площадь сечения дросселя $1 \cdot 10^{-4}$ м²; трение в гидроцилиндре от 3200 Н до 4000 Н; внешняя нагрузка 500 кг.

Результаты моделирования

Результатом моделирования являются анимированная 3D-модель, созданная субсистемой «VR 3D-Animation» (рис. 7), графики положения звеньев перископического цилиндра для развёртывания/свёртывания (рис. 8, *а*), график расхода (рис. 8, *б*) и давления (рис. 8, *в*) на предохранительном клапане.

Заклучение

В работе была представлена методика проектирования гидроприводов на примере гидропривода ПМУ. Разработана принципиальная и расчётная схемы гидропривода ПМУ, составлена математическая модель гидропривода, построена имитационная модель гидропривода и трёхмерная модель перископического цилиндра.

Исходя из результатов моделирования, можно сказать, что модели гидроприводов дают возможность получить объективные данные о реальных приводах. Данную методику рекомендуется применять для проектирования гидроприводов на этапе эскизного и технического проекта для предварительной оценки характеристик привода.

Литература

1. Архипова О. А. Даршт Я. А. Моисеенко В. Б. Практикум моделирования гибридных систем (учебное пособие по курсу: «Компьютерные технологии в машиностроении»). – Ковров: КГТА, 2015. – 61 с.
2. Даршт, Я. А. Гидроприводы станков: методические указания к выполнению курсовой работы / Я. А. Даршт, А. М. Филиппов, И. Н. Холкин. – Ковров: КГТА, 2010. – 36 с.
3. Даршт, Я. А. Моделирование движения механических элементов гидропневмоустройств: учеб. пособие / Я. А. Даршт, А. Н. Кочнев, С. А. Смирнов. – Ковров: ФГБОУ ВО «КГТА им. Дегтярева», 2017. – 80 с.
4. Дьяконов В. П. Matlab R2006/2007/2008. Simulink 5/6/7. Основы применения. Серия: Библиотека профессионала. – М.: Солон-Пресс, 2008. – 800 с. – ISBN 978-5-91359-042-8
5. Задачник по гидравлике, гидравлическим машинам и гидроприводу; под ред. Б. Б. Некрасова. – М.: Высш. шк., 1989.
6. Коваль П. В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности «Горные машины и комплексы». – М.: Машиностроение, 1979. – 319 с, ил.
7. White, F. M. Viscous Fluid Flow, McGraw-Hill, 1991.
8. D. Dott. Ing. Alvin Anthony Modeling and Analysis of Hydraulic Load Sensing Strategies in Off Highway Equipment, 2004.
9. I. J. Karassic, J. P. Messina, P. Cooper, C. C. Heald, Pump Handbook, Third edition, McGraw-Hill, NY, 2001.

References

1. Arhipova O. A. Darsht Ja. A. Moiseenko V. B. Praktikum modelirovaniya gibridnyh sistem (uchebnoe posobie po kursu: «Komp'yuternye tehnologii v mashinostroyeni»). – Kovrov: KGTA, 2015. – 61 s.
2. Darsht, Ja. A. Gidroprivody stankov: metodicheskie ukazaniya k vypolneniju kursovoy raboty / Ja. A. Darsht, A. M. Filippov, I. N. Holkin. – Kovrov: KGTA, 2010. – 36 s.
3. Darsht, Ja. A. Modelirovanie dvizheniya mehanicheskikh jelementov gidropnevmostrojstv: ucheb. posobie / Ja. A. Darsht, A. N. Kochnev, S. A. Smirnov. – Kovrov: FGBOU VO «KGTA im. Degtjareva», 2017. – 80 s.
4. D'jakonov V. P. Matlab R2006/2007/2008. Simulink 5/6/7. Osnovy primeneniya. Seriya: Biblioteka professionala. – M.: Solon-Press, 2008. – 800 s. – ISBN 978-5-91359-042-8.
5. Zadachnik po gidravlike, gidravlicheskim mashinam i gidroprivodu; pod red. B. B. Nekrasova. – M.: Vyssh. shk., 1989.
6. Koval' P. V. Gidravlika i gidroprivod gornyh mashin: Uchebnik dlja vuzov po special'nosti «Gornye mashiny i komplekсы». – M.: Mashinostroyeniye, 1979. – 319 s, il.
7. White, F. M., Viscous Fluid Flow, McGraw-Hill, 1991.
8. D. Dott. Ing. Alvin Anthony Modeling and Analysis of Hydraulic Load Sensing Strategies in Off Highway Equipment, 2004.
9. I. J. Karassic, J. P. Messina, P. Cooper, C. C. Heald, Pump Handbook, Third edition, McGraw-Hill, NY, 2001.

Поступила
11.07.2017

После доработки
09.11.2017

Принята к печати
15.12.2017

Smirnov S. A., Gorshkova N. A.

THE METHOD OF DESIGNING HYDRAULIC DRIVES ON THE EXAMPLE OF A HYDRAULIC DRIVE OF A LIFTING-MAST DEVICE

The Kovrov State Technological Academy named after V. A. Degtyarev

The classical approach to the design of hydraulic drives includes complex calculations and real tests, which is a resource-consuming process. Reduce the cost of design allows the introduction of the development of simulation modeling and CAD / CAM / CAE / PDM automation complexes of the production cycle of enterprises. Modeling allows us to use systematic basis methodological achievements of the theory and practice of hydroautomatics for the design of hydraulic devices to accumulate in the orderly form design experience and provide model support for the life cycle of these products. The article deals with the modern approach to the design of hydraulic drives. A type of a preliminary evaluation of hydraulic drive characteris-

tics is given in the example of a hydrodrive of a lifting and mast device. The principle and design schemes of the hydraulic drive are chosen, and a mathematical model is compiled on the basis of the requirements for hoisting and mast devices. A simulation model of the drive is developed on the basis of the mathematical model, consisting of several separate parts connected together. Parts represent a mixed structure of blocks that describe processes in mechanical and hydraulic systems. For visual display an animated 3D model has been created that allows you to observe the progress and results of the simulation. During the calculations, the position dependence graphs of the each link of the lifting and mast device on time, as well as pressure and flow on the safety valve were obtained. Conclusion, based on the results of modeling, was made about the adequacy of the application of models for estimating the characteristics of the projected hydraulic drive in the first approximation. It is recommended to develop such models at the stages of outline and technical design.

Keywords: lifting-mast device, mathematical model, simulation model.



Смирнов Сергей Андреевич – аспирант ФГБОУ ВО «КГТА им. В. А. Дегтярёва». Инженер-конструктор ОАО «СКБ ПА». Научные интересы в области систем автоматического проектирования, систем автоматического конструирования и имитационного моделирования.

Smirnov Sergey Andreevich – postgraduate student, KSTA. Design Engineer of «SKB PA». Scientific interests in the field of CAD, CAE and simulation modeling.

Горшкова Наталия Алексеевна – магистрант кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропривод», ФГБОУ ВО «КГТА им. В. А. Дегтярёва». Инженер-программист ОАО «СКБ ПА». Научные интересы – программирование систем и комплексов, математическое моделирование.

Gorshkova Natalia Alekseevna – student of the Master's degree courses of the chair «Hydropneumatic Automatics and Hydraulic Drive», KSTA. Software Engineer of «SKB PA». Scientific interests – programming systems and complexes, mathematical modeling.

УДК 629.113.073

В. Г. МИХАЙЛОВ

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

Рассмотрены состояние автоматизации на существующих конструкциях грузовых автомобилей, вопросы применения микропроцессорных систем для их автоматизации. Отмечено, что в настоящее время большинство выпускаемых в СНГ грузовых автомобилей автоматизированы только частично. Автоматизацией охвачены: контроль, диагностика состояния систем и информация о них; управление запуском, частично контролем работой силовой установки; управление впрыском топлива; управление энергоснабжением; управление тормозами, антиблокировочными системами, подушками безопасности; обеспечение климат-контроля; освещения.

Рассмотрены области применения микропроцессорных систем в автомобилях и используемые для этого микроконтроллеры с учетом того, что сейчас требуется значительно расширить области автоматизации систем автомобилей. Проведен анализ систем и функций, подлежащих автоматизации для грузовых и специальных автомобилей. Рассмотрены вопросы применения микропроцессорных систем для получения экспериментальных данных по дорогам (микро и продольного профиля) и использование их при моделировании автомобиля, а также обеспечения дорожной безопасности: обеспечение дистанции между автомобилями, контроля слепых зон; исключение засыпания водителя во время движения, уменьшение вредного воздействия от шумов и вибраций.

Предложено комплексирование реализуемых функций и систем их управления. Дано краткое описание и обоснование целесообразности применения средств автоматизации на основе дешевых микропроцессорных модулей Arduino, позволяющее значительно сократить количество используемых микроконтроллеров. Приведены общие блок-схемы реализации задач тяговой динамики в пакете MatLab/Simulink, трансформирования и горизонтирования специальных машин с помощью МК Arduino. Даны рекомендации по этапному внедрению систем автоматизации для грузовых и специальных автомобилей.

Ключевые слова: Автоматизация, автомобиль, вибрации, тяговая динамика, микропроцессорные модули и системы управления, Arduino.

Введение

В настоящее время большинство выпускаемых в Республике Беларусь и в СНГ грузовых автомобилей автоматизированы только частично. Во многом это связано с нашим отставанием и тем, что автоматизация удорожает стоимость машины поскольку средства автоматизации на этапе 2000 годов были дорогими. Поэтому автоматизацией на серийно выпускаемых сейчас машинах была охвачена только небольшая часть ее функций [1]:

- контроль, диагностика состояния систем и информация о них;
- управление запуском, частично контролем работой силовой установки;
- управление впрыском топлива;
- управление энергоснабжением;
- управление тормозами, антиблокировочными системами, подушками безопасности;
- обеспечение климат-контроля;
- освещения.

Либо применяются в составе импортного силового узла (двигатель с КПП) с его систе-

мой управления, например ОМ 501 в автомобилях МАЗ-5430.

Доля электроники в автомобилях постоянно увеличивается – в 2000 году на нее приходилось 22% стоимости автомобиля, а в 2010–35% при снижении стоимости их компонентов.

Сейчас необходимо предусмотреть дистанционный запуск силовой установки в процессе его стоянки, прогрев двигателя и кабины путем дистанционного включения с радиопульта, поддержания оптимальных условий в кабине, автоматизация оптимальных регулировок водителя на рабочем месте.

Важным направлением является управление коробкой передач и двигателем, обеспечивающим минимальный расход топлива. Последнее реализуется за счет микроконтроллера/ов и датчиков работы двигателя и КПП, а также самого автомобиля. Для управления ими в МК используется CAN-шина со скоростью обмена информацией до 1 Мбит/с.

Другим важным направлением является обеспечение дорожной безопасности: обеспе-

чение дистанции между автомобилями, контроль слепых зон, исключение засыпания водителя во время движения, уменьшение вредного воздействия от шумов и вибраций.

Автоматизация коснулась даже сиденья. Так на многих импортных седельных тягачах применяются автоматически регулируемые сиденья с пневмоподвеской, удобное положение для конкретного водителя запоминается в микроконтроллере и автоматически устанавливается под него [2]. Для повышения устойчивости в спортивных мотоциклах начали применяться микроконтроллеры с датчиком наклона Bosch MM5.10.

Сейчас для автоматизации, в основном, используются специализированные микроконтроллеры Siemens, Bosch, Microchip, Atmel, Dallas, Philips, OKI и другие под каждую свою функцию. В то же время имеются более дешевые технические средства на платформе Arduino (базирующиеся на МК Contex/Atmel), Raspberry, Fastwel, позволяющие автоматизировать в значительной степени многие операции по запуску и управлению силовой установки, управлению климат-контролем, регулированию освещения и др. на одном микропроцессоре. Это позволяет значительно сократить время готовности и облегчает их функционирование и затраты на них, повышает их безопасность и оправдывает применение средств автоматизации.

1. Обзор средств, направлений применения автоматизации в современном автомобилестроении и управлении умным домом

1.1. Структура управления на основе локальной сети

Исторически развитие бортовой электроники развивалось децентрализованно – для каждой из подсистем автомобиля создавались свои

системы контроля и управления. Наиболее ранними были системы управления двигателем, антиблокировочные системы, охранные. На современном этапе происходит объединение отдельных электронных подсистем автомобиля в единую локальную сеть, где за каждой подсистемой сохраняется ее структурная и программная независимость, однако при необходимости подсистемы обмениваются информацией.

Наиболее распространенной локальной бортовой сети является сеть по протоколу CAN (Control Area Network). Шина разработана в конце 80-х годов фирмой Bosch и принята в качестве стандарта для всех производителей автомобильной электроники в Европе.

Физически это двухпроводная витая пара (иногда 4-проводная), однако может реализовываться и в других вариантах среды – коаксиальный кабель, оптоволокно и даже одиночный провод. Для передачи сообщения между отдельными бортовыми модулями используются два состояния шины – доминантный (активный) и рецессивный (пассивный). CAN-шина функционирует в режиме реального времени, что немаловажно при управлении узлами ТС, работающих в скоростных режимах, поэтому шина имеет несколько вариантов реализации: высокоскоростная (HS) для силового агрегата и шасси; Среднескоростные (MS) для информационно-развлекательной системы и системы климат-контроля; низкоскоростная (LS) для электроники комфорта. Топология сети – звезда. Каждый элемент сети имеет свой идентификационный код, через который распознает сигнал запроса и выполняет поданную команду. CAN-сообщение представляет собой битовый пакет короткого (11 бит) и длинного (24 бит) типа. Пакет не содержит адреса назначения, однако имеет идентификатор содержания со-

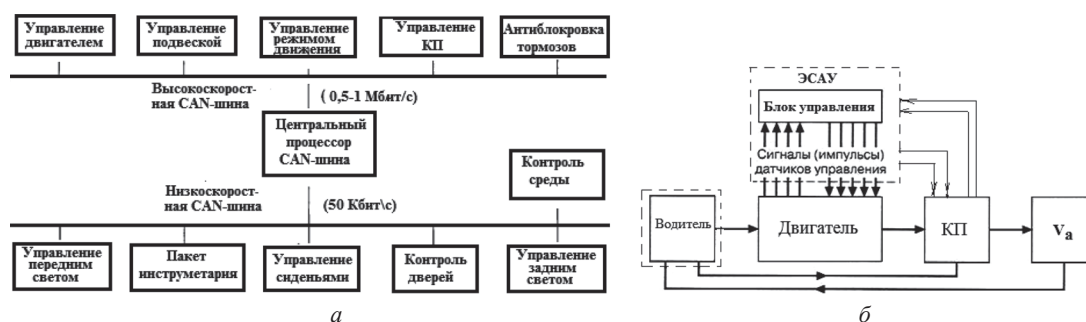


Рис. 1. Общая схема управления автомобилем (а), силовым агрегатом (б)

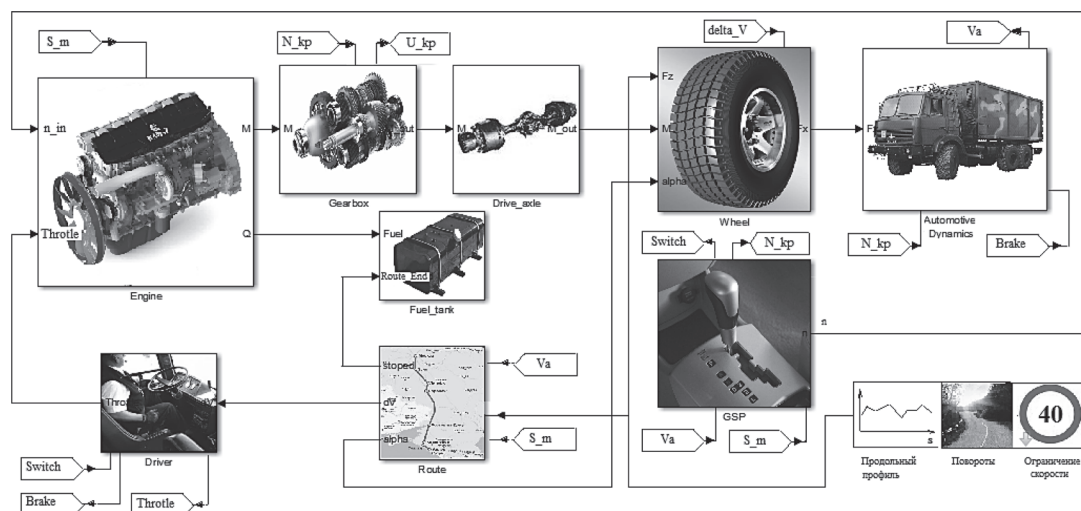


Рис. 2. Общая блок-схема моделирования движения автомобиля с учетом дорожной обстановки

общения, по которому его могут принимать другие МПС (микропроцессорные системы) автомобиля, если они нуждаются в этом сообщении.

Для приема сигналов, который передаются через сеть центральным процессором и передачи сигналов на процессор все элементы схемы должны иметь микросхему согласования интерфейса RS/CAN. Такая микросхема также входит в состав интеллектуального датчика или привода. Соответственно, посылая сигнал в сеть, интеллектуальный датчик передает свой идентификационный код, по которому его распознает другой процессор.

В дополнение к CAN-шины разного типа может использоваться шина UART – универсальный асинхронный приемопередатчик/передатчик. Шина UART обычно используется для передачи данных между датчиками и блоком управления. Система управления автомобиля получается довольно сложная, например в Volvo S80 задействовано 28 микроконтроллеров.

1.2. Применение для моделирования и экспериментальных исследований

Сейчас при проектировании автомобилей все чаще прибегают к методам виртуального моделирования с использованием пакетов Adams, MatLab/Simulink. С помощью их решаются вопросы тяговой динамики, устойчивости, плавности хода и оценки загруженности узлов автомобилей [3]. Для проведения моделирования требуется использования корректных моделей [4], реальных массивов данных о про-

должных уклонах дорог, их микропрофилей [5]. Это является ключевым моментом при расчетах. Данные по дорогам можно получить на основе микроконтроллеров и их модулей путем регистрации ускорений и углов наклона и их математической обработки [5]. И на основе их провести моделирование и более тщательно отработать конструкцию. Примером одной из реализаций является блок-схема моделирования движения автомобиля с учетом дорожной обстановки в пакете MatLab/Simulink (рис. 2).

Путем моделирования на основе микропрофиля можно получить данные о загруженности узлов автомобиля, оценить их долговечность и проверить на стенде [3].

Интересный метод предложен по получению уклонов дорог специалистами фирмы Volvo [6–9]. Он основан на регистрации параметров CAN-шины электронного блока управления силовым агрегатом движущегося автомобиля и положения автомобиля на трассе с помощью датчика GPS. Полученные данные (скорость, крутящий момент, текущая передача КПП, координаты точек сканирования GPS) записывались на laptop. Регистрация параметров производилась с шагом 12.5 м. Длина записанного участка составляла 15 км. Число точек сканирования 1200. Затем на основе обработки этих данных рассчитывался угол наклона дороги, используя тяговый баланс сил автомобиля и значение его массы без учета аэродинамического фактора. В дальнейшем полученный массив данных используется при расчетах тяговой динамики и оптимизации параметров автомобилей этой фирмы. Вместо laptop впол-

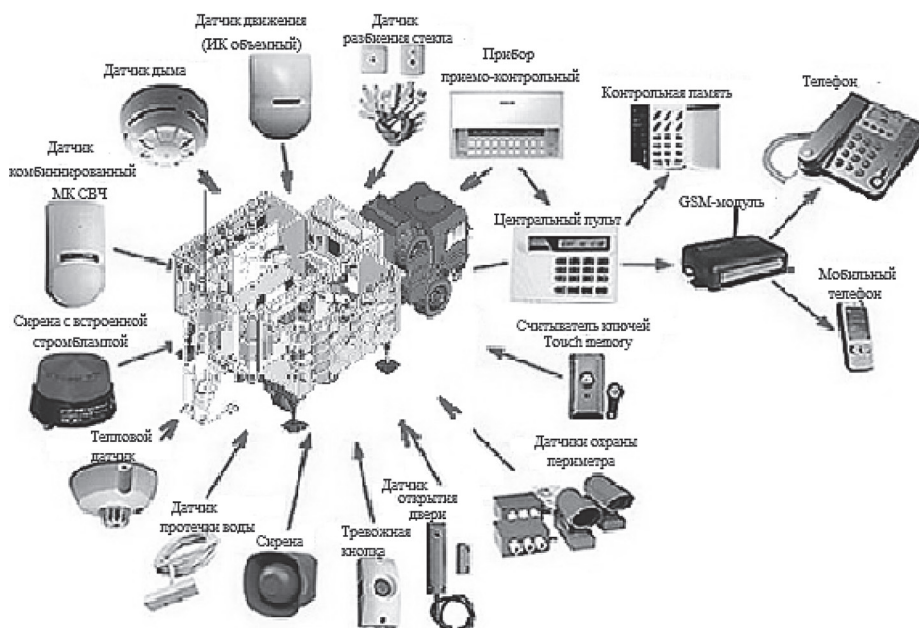


Рис. 3. Возможное применение технологий умного дома для специальных машин

не можно использовать более дешевый Arduino Due.

1.3. Возможное направление работ по автоматизации на основе тенденций в автомобилестроении и в строительстве умного дома

Автоматика умного дома позволяет решать широкий круг задач; управлять освещением, отоплением, вентиляцией и кондиционированием воздуха (ОВК), бытовой техникой, открывать замки ворот, дверей, жалюзи. Элементы умного дома включают в себя датчики (например, температуры, дневного света или обнаружения движения), контроллеры и приводы, такие как моторизованные клапаны, выключатели, сервомеханизмы и другие.

На многих легковых автомобилях высокого класса, да и уже и грузовых сейчас предусматривается возможность дистанционного запуска двигателя с его предварительным подогревом в зимних условиях. Достаточно нажать соответствующую кнопку на брелке. На основе микропроцессорной техники включается система обогрева. С помощью ее также можно выключить обогрев или перевести его в экономный режим. Это можно применить и для мобильных госпиталей, а также для специальных машин: штабных, с фургонами для перевозки людей, помещений для проживания: полярных станций (рис. 3).

В современных автомобилях при открытии двери загорается дежурный свет в салоне, а после ее закрытия он автоматически гаснет. Открытие автомобиля и запуск двигателя осуществляется по специальной карте. Такой же подход может быть использован при допуске в помещение специальных автомобилей по чипизированным карточкам, отпечаткам пальцев, роговицы.

В автомобилях осуществляется индивидуальное регулирование температурного режима не только для водителя, но и для мест пассажиров, персонала, включение света при ухудшении освещенности, что требует использование систем управления.

Использование подходов и средств умного дома может быть полезно для автоматизации автомобилей. Автоматизированы могут быть следующие системы автомобилей:

- контроль состояния систем;
- управление силовой установкой и энергоснабжением;
- горизонтирование положения (для кранов, спутниковых антенн на машине);
- подъема/спуска специального кузова-модуля;
- трансформирования кузовов мобильных госпиталей, точек продаж различных товаров;
- выдвижение антенн и их позиционирование для телевидения (мобильные пункты передачи информации);

электрооборудования и освещение (управление освещением);

- включение дежурного освещения при появлении людей, выключение света;
- отключение ненужного электрооборудования, приборов;
- выключение компьютерных панелей, мониторов в специальных модулях;
- включение ночной подсветки;
- **климат-контроля** (поддержание температуры для каждой части помещения, отдельных ее частей (например, компьютерной техники, медицинского оборудования, специальных отсеков), нагрев и охлаждение);
 - вентиляция;
 - контроль состояния воздуха в кабине, внутреннем помещении;
 - увлажнение;
 - переключение нагрева и охлаждения в экономичный режим;
 - вентиляция путем перевода в тихий экономичный режим;
 - поддержка определенной температуры;
 - **управление устройствами**. Например, с пульта включать или выключать что-либо (плазменную панель, свет с его регулировкой, датчики видеонаблюдения на командных пунктах и т. п.):
 - приглушение звука приемника при звонке, сообщениях;
 - управлять радиосвязью между персоналом в кабине и кузове-контейнере, аудио связью между помещениями;
 - обеспечение светомаскировки путем выключения освещения на командных пунктах с одновременным включение синего цвета при открытии входной двери;
 - системой оповещения;
 - отслеживанием звука;
 - обеспечением тишины и покоя ночью;
 - **осуществление дополнительных охранных функций**:
 - дистанционная проверка ситуации с автомобилем на стоянке, внутри помещения, вокруг;
 - обеспечение безопасности (рубежи охраны, IP видеонаблюдение);

Такой же автоматизации могут быть подвергнуты, мобильные медицинские, специальные модули, установленные на автомобили, а также отдельные модули: госпитали, кузова для перевозки и проживания людей.

2. Оценка применимости средств механизации, автоматизации и автоматизированных систем управления на автомобилях и их комплексах

Для грузовых автомобилей целесообразен более полный охват автоматизацией т. к. ее применение уже обусловлено необходимостью сокращения времени готовности, обеспечением требованием безопасности и условий работы. Иллюстрацией по безопасности является применение ультразвуковых или ИК-сонаров (рис. 4) для парковки, слепых зон, дистанций, информация с которых поступает на микроконтроллер и информирует водителя в виде звуковых сигналов или изображения.

В дальнейшем на систему управления можно возложить и другие функции. Такой подход приведет к не столь значительному удорожанию стоимости системы управления поскольку эту систему можно сделать на одном более мощном модуле (микроконтроллере), например Arduino Due (32-битном, 84 МГц, 96 Кб ОЗУ) или более мощном Fastwel (1000 МГц).

Помимо этих систем в специальных автомобилях применяются устройства подъема, снятия модуля с машины процессом, которого надо управлять. Примером этого являются устройства подъема и горизонтирования немецкой фирмы «Hetek» (рис. 5) [10]. Оно представляет собой устройство с электромеханическим приводом подъема и электронным блоком управления на базе микроконтроллера с датчиками уровня. Оно может подымать кузов-контейнер на высоту 1750 мм и снимать его с машины. Управление осуществляется на основе 2-х датчиков наклона. Используется проводной пульт (5 проводов управляющих, два силовых). Имеется возможность нажав

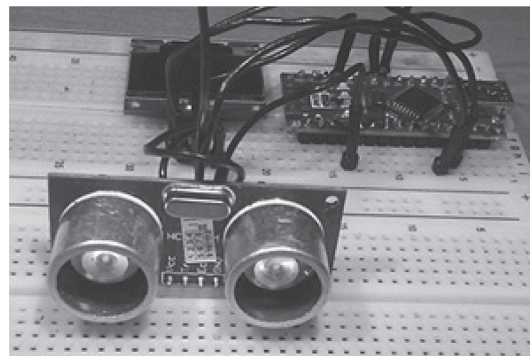


Рис. 4. Модуль Arduino с ультразвуковым датчиком HC-SR04



Рис. 5. Устройство подъема и горизонтирования немецкой фирмы «Hetek»

определенную кнопку обеспечить автоматизированный одновременный подъем 4-х подъемников с погрешностью горизонтирования – 1° . На подъем/спуск контейнера требуется 8 мин. Предусмотрен ручной подъем/спуск, вращая рукоятку. Возможно кнопочное управление одним из подъемников, что позволяет более точно выровнять контейнер. Но это очень дорогая система (около 35 тыс. евро). Управление ею целесообразно сделать с помощью радиопульта. Ее применение больше оправдано в случае использования авиации поскольку мобильные машины (например, госпитальный модуль с машиной) не проходят по высоте в люк самолетов (Ил-76, С-130) и кузов-контейнер приходится снимать с шасси [3, 11].

Фирма «Hetek» также выпускает системы выдвижения антенн, требующие горизонтирования и подкатные тележки для закатывания

кузовов-контейнеров в самолет. Питаются эти системы от 24 В. Все эти устройства имеют свои системы управления [12].

Позиционирования антенн, можно осуществить с помощью магнитного датчика (гирокомпас), датчика наклона (типа MPU-6050/915) и электросервопривода, управляемых микропроцессорной системой. Автоматизированная система учитывает положение штабной машины и другого объекта связи, определенного по GPS и выдает сигнал на позиционирование антенны в необходимом направлении и по углу наклона.

3. Обоснование необходимости и преимуществ автоматизации и их комплексирования

Обоснование необходимости и преимущества автоматизации приведены в таблице.

Обоснование необходимости и преимущества автоматизации

№	Наименование автоматизированной функции	Обоснование	Преимущества
1	Дистанционный запуск силовой установки во время стоянки (на прогрев установки и выход ее на рабочий режим требуется 5–10 мин)	Сокращение суммарного времени готовности на 5–10 мин	Сокращение суммарного времени готовности
2	Прогрев помещения до необходимой температуры в холодный период (на что требуется до 120 мин)	Сокращение времени подготовки	Сокращение времени готовности
3	Автоматизированное раскладывание (трансформирование) кузова-контейнера (КК) переменного объема (мобильный госпиталь, специальные модули)	Сокращение времени разворачивания до 10–12 мин против 40 мин при ручном разворачивании, сокращение персонала с 3–6 чел. до одного, исключение ошибок персонала и повреждения механизма раскладывания и КК	Сокращение времени готовности, снижение поражаемости изделия за счет более быстрой смены позиций Увеличение полезной площади до 29 м ² , значительное
4	Автоматизированное горизонтирование кранов, специальных модулей	Более точное выставление горизонта, исключение ошибок персонала, опрокидывания машины, сокращение времени выставления направлений антенн.	Сокращение времени до 10–20% за счет одновременного выдвижения опор

Окончание таблицы

№	Наименование автоматизированной функции	Обоснование	Преимущества
5	Включение компьютерной техники в мобильных пунктах телевидения и модулях специального назначения	Сокращение времени запуска до 5 мин	
6	Управление климат-контролем	Поддержание оптимальной температуры, сокращение энергопотребления	Сокращение энергопотребления на 10–20%.
7	Управление освещением	Обеспечение оптимальной освещенности, сокращение энергопотребления за счет дежурного и локального освещения	Сокращение энергопотребления по освещенности на 10–20%, возможность перехода на экономный режим освещения.
	Осуществление охранных функций с помощью датчиков	Дополнительное повышение безопасности машин и персонала	Расширение возможностей охранных функций.
	Контроль жизненного цикла	Осуществление диагностики систем, регистрация их параметров, фиксация неисправностей, обслуживания	Более быстрая диагностика причин отказов и их устранения.

В настоящее время многие фирмы, работающие в этой области, сочетают использование готовых зарубежных устройств, привлечение сторонних организаций и собственных сил и ведут поэтапное внедрение систем автоматизации. Такой подход приводит к увеличению систем управления. Целесообразно объединить эти системы для упрощения их использования и исключения ошибок персонала. Например, сделать один унифицированный пульт с контроллером, который бы управлял уже имеющимися системами.

Рассмотренные функции в таблице могут быть скомплексированы в однотипные группы:

- дистанционный запуск силовой установки, включение климат-контроля, прогрев помещений, включение компьютерной техники во время выдвигания;
- обеспечение безопасности;
- управление работой КПП и двигателем;
- автоматизированное позиционирование (подъем, горизонтирование, спуск) и трансформирование кузова-контейнера переменного объема;
- управление освещением и климат-контролем;
- осуществление охранных функций с помощью датчиков.

4. Модули Arduino

Основу большинства модулей Arduino составляет плата с установленным на ней микропроцессором Cortex/Atmel, флеш-памятью, АЦП, ЦАП, PID, входом для программирования и распаянными контактами для присоединения других компонентов. Размеры плат

69x53 мм у UNO и 102x53 у Due, масса 35 Г). Существует много версий этих плат с разными процессорами, объемом памяти и напряжением питания. Наиболее мощным считается Arduino Otto Star (180 МГц, 2 Гб ОЗУ, 54\$). К Arduino Due и Otto можно подключить до 56 устройств. Ожидается появление в 2018 г. МК Cortex M7 (400, 600 МГц). Начато производство более надежных Industrial Arduino 101 (MCU – Atmel AVR MCU ATmega32u4 @ 16 МГц с 32 Кб памяти, 2,5 Кб SRAM, 1Кб EEPROM, –40°). В РФ освоено производство ряда МК Cortex/Atmel.

Наибольший интерес для задач горизонтирования и трансформирования специальных машин и кранов представляет использование модуля MPU-6050 (стоимостью 5–6\$), который является 6-осевым (3-осевой гироскоп + 3-осевой акселерометр) микроэлектромеханическим (MEMS) датчиком ускорений семейства MotionTracking. Может использоваться также 9-ти осевой MPU-915 с компасом. MPU-6050 имеет нелинейность – 0,2%. Полоса среза – 1000 Гц. Расчет угла наклона производится в программе МК путем интегрирования методом Эйлера переменных 3-хосевых ускорений, получаемых с регистров датчиков. С помощью MPU-6050 можно легко сделать систему горизонтирования, трансформирования специальных машин, производить оценку вибраций. Пример возможной реализации системы горизонтирования кранов приведен на рис. 6.

С помощью модулей Arduino можно осуществлять автоматическое управление различными устройствами: светом на основе освещенности, времени суток или присутствия че-

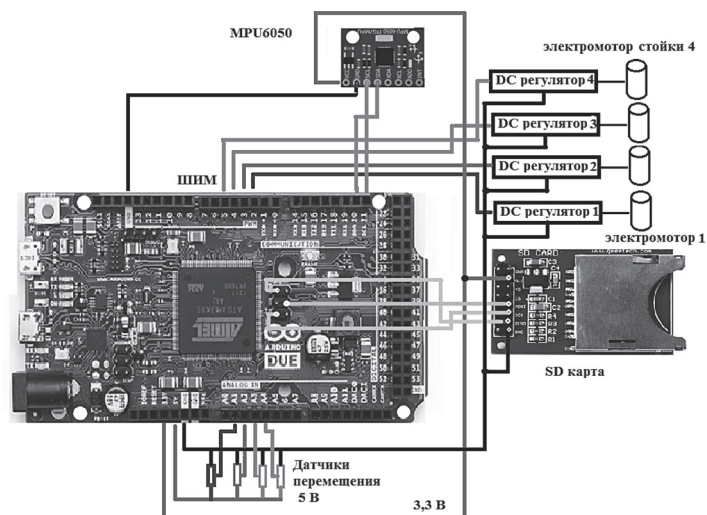


Рис. 6. Система горизонтирования крана на базе модулей Arduino

ловека; открытие-закрытие дверей, жалюз; управление автоматическими воротами и т. п.

Имеются большое количество аналоговых и цифровых датчиков с помощью которых можно снимать параметры и управлять различными устройствами. По шине i2C можно прикреплять не ограниченное количество датчиков, только у каждого должен быть свой ID.

В программном обеспечении Arduino имеется библиотека по работе с CAN-шиной, а также модуль HX711, позволяющий работать с тензодатчиками, что позволяет создать очень дешевую измерительную систему.

На основе Arduino создаются небольшие квадрокоптеры, БЛА, модели движущихся колесных и гусеничных роботов. Они по своим возможностям могут использоваться при создании беспилотных машин, к которым не предъявляются повышенные требования безопасности.

Программирование осуществляется с помощью Arduino IDE на языке C, C++ в среде Windows, Linux. Откомпилированная программа занимает в ОЗУ порядка 20–50 Кб.

Недостатком модулей Arduino в отличие от Fastwel является то, что они имеют температурный диапазон до -30° при требуемых военными -40° и недостаточную надежность (у изготовленных в Китае). Чтобы они выдержали -40° требуется залить ее компаундом и произвести отбор блоков по результатам испытаний по температуре. Так это делается в авиационном приборостроении. А не выдержавшие образцы можно использовать в гражданских изделиях с меньшими требованиями или в качестве запасного. Модули Fastwel более мощ-

ные и надежные (процессор до 1000 МГц, ОЗУ до 1 Гб, стоимость 800\$). Они больше ориентированы на применение в промышленности, судостроении, железнодорожном транспорте. Однако они более громоздкие.

Заключение

На основании вышеприведенного можно сделать следующие выводы.

1. В связи с появившимся более высокими требованиями к безопасности, улучшению условий работы водителей, времени готовности требуется автоматизировать многие функции обеспечения работы автомобилей в первую очередь специальных. Появившиеся дешевые средства автоматизации на базе микроконтроллеров оправдывают их применение.

2. Автоматизацией должны быть охвачены следующие системы автомобилей:

- контроля состояния систем, наличия сообщений об ошибках в системах;
- запуска и управления работой силовой установки;
- безопасности автомобилей на дорогах;
- позиционирования (подъема и горизонтирования) машин и их модулей;
- трансформирования модулей;
- управления освещением и климат-контролем;
- дополнительной охраны.

3. Работу по автоматизации целесообразно начать с системы контроля состояния, системы запуска и управления работой силовой установки. Следующим этапом может быть управление освещением и климат-контролем, безо-

пасности, горизонтирования. На последнем этапе реализация управления охраной.

5. В дальнейшем необходимо объединить перечисленные в п. 2 системы, сделав единую систему управления, управляемую с одного пульта либо панели.

6. Для грузовых автомобилей можно ориентироваться и на более дешевый вариант с учетом требований Заказчика, Здесь можно ограничиться следующими системами:

- контроля состояния систем;
- запуска и управления работой силовой установки, энергоснабжением;
- управления освещением и климат-контролем.

– обеспечение дорожной безопасности.

7. Для автоматизации могут быть использованы микропроцессорные системы на платформе Fastwel, Raspberry, Arduino. Последняя является более дешевой (на порядок ниже чем Fastwel). Однако она имеет гарантированный температурный диапазон -30° при требуемых -40° . Чтобы она выдержала -40° требуется залить ее компаундом и произвести отбор блоков по результатам испытаний по температуре. Так это делается в авиационном приборостроении. А не выдержавшие образцы использовать в гражданских изделиях с меньшими требованиями или в качестве запасного модуля.

Литература

1. **Zeppelin** resents HF-shielded 3:1 shelter [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://zeppelin-mobile.com/zmsshelterhf.pdf>. – Дата доступа: 25.07.2010.
2. **Михайлов, В. Г.** Расчетное исследование влияния параметров подвески сиденья на вибронагруженность рабочего места водителя грузового автомобиля / В. Г. Михайлов, Д. В. Мишута // Сборник научных трудов НАМИ – 2016, № 3 (266), С. 25–34.
3. **Мишута, Д. В.** «Разработка штабных машин мобильных пунктов управления» дис... канд. техн. наук: 05.05.03 / Д. В. Мишута – Минск, 2013. – 191 л.
4. **Михайлов, В. Г.** О колебательной модели грузового автомобиля / В. Г. Михайлов Д. В. Мишута // Автомобильная промышленность – 2016, № 7 С.23–27.
5. **Михайлов, В. Г.** Считывание, первичная обработка ускорений и углов наклона с MPU-6050 и запись бинарных данных на SD карту Arduino Due /Системный анализ и прикладная информатика – 2016, № 4. С. 53–60.
6. **Per Sahlholm** Piecewise Linear Road Grade Estimation /Per Sahlholm, Ather Gattami, Karl Henrik Johansson /Scania CV AB, 2ACCESS Linnaeus Centre Royal Institute of Technology, Sweden, 2011. KTH – School of Electrical Engineering SE-100 44 Stockholm, Sweden TRITA-EE 2011:007. P. 16.
7. **Per Sahlholm** Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control/Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson __ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden / _ Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm. P. 7.
8. **Hong S** Road Grade and Vehicle Parameter Estimation for Longitudinal Control Using GPS/ Hong S. Bae1, Jihan Ryu and J. Christian Gerdes. Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson __ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden, Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm, P. 7.
9. **Zhang, K.** Road Grade Estimation for On-Road Vehicle Emissions Modeling Using LIDAR Data / Zhang, K., and H. C. Frey, *Proceedings, Annual Meeting of the Air & Waste Management Association*, June 20–23, 2005, Minneapolis, MN. P. 22.
10. **Container** Lifting System 257/ [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.hetek.de/en/home.html>. – Дата доступа: 22.04.2011.
11. **Mobile** Military Shelters / Command Posts [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.armedforces-int.com/suppliers/mobile-command-posts.html>. – Дата доступа: 25.07.2010.
12. **Military** container ISO 1C – medical shelter for patients / [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: www.variel.cz – Дата доступа: 22.04.2011.

References

1. **Zeppelin** resents HF-shielded 3:1 shelter [Elektronnyj resurs]. – 2010. – Rezhim dostupa: <http://zeppelin-mobile.com/zmsshelterhf.pdf>. – Data dostupa: 25.07.2010.
2. **Mikhailov, V. G.** Raschetnoe issledovanie vliyaniya parametrov podveski siden'ya na vibrona-gruzhennost' rabocheho mesta voditelya gruzovogo avtomobilya / V. G. Mihajlov, D. V. Mishuta // Sbornik nauchnyh trudov NAMI – 2016, № 3 (266), S.25–34 44–52.
3. **Mishuta, D. V.** «Razrabotka shtabnyh mashin mobil'nyh punktov upravleniya» dis... kand. tekhn. nauk: 05.05.03 / D. V. Mishuta – Minsk, 2013. – 191 l.
4. **Mikhailov, V. G.** O kolebatel'noj modeli gruzovogo avtomobilya / V. G. Mikhailov D. V. Mishuta // Avtomobil'naya promyshlennost' – 2016, № 7 S.23–27.
5. **Mikhailov, V. G.** Schityvanie, pervichnaya obrabotka uskorenij i uglov naklona s MPU-6050 i zapis' binarnykh dannykh na SD kartu Arduino Due /Sistemnyj analiz i prikladnaya informatika – 2016, № 4. S.53–60.
6. **Per Sahlholm** Piecewise Linear Road Grade Estimation /Per Sahlholm, Ather Gattami, Karl Henrik Johansson /Scania CV AB, 2ACCESS Linnaeus Centre Royal Institute of Technology, Sweden, 2011. KTH – School of Electrical Engineering SE-100 44 Stockholm, Sweden TRITA-EE 2011:007. P. 16.
7. **Per Sahlholm** Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control/Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson __ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden / _ Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm. P. 7.
8. **Hong S Road** Grade and Vehicle Parameter Estimation for Longitudinal Control Using GPS/ Hong S. Bae1, Jihan Ryu and J. Christian Gerdes. Road Grade Estimation for Look-ahead Vehicle Control Per Sahlholm _ Karl Henrik Johansson __ Scania CV AB, SE-151 87 Sodertalje, Sweden, Royal Institute of Technology (KTH), SE-100 44, Stockholm, P. 7.
9. **Zhang, K.** Road Grade Estimation for On-Road Vehicle Emissions Modeling Using LIDAR Data / Zhang, K., and H. C. Frey, Proceedings, Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, June 20–23, 2005, Minneapolis, MN. P. 22.
10. **Container** Lifting System 257/ [Elektronnyj resurs]. – 2016. – Rezhim dostupa: <http://www.hetek.de/en/home.html>. – Data dostupa: 22.04.2011.
11. **Mobile** Military Shelters / Command Posts [Elektronnyj resurs]. – 2010. – Rezhim dostupa: <http://www.armedforces-int.com/suppliers/mobile-command-posts.html>. – Data dostupa: 25.07.2010.
- 12 **Military** container ISO 1C – medical shelter for patients /-[Elektronnyj resurs]. – 2016. – Rezhim dostupa: www.variel.cz – Data dostupa: 22.04.2011.

Поступила
14.09.2017

После доработки
27.09.2017

Принята к печати
15.12.2017

Mikhailov V. G.

APPLICATION OF MICROPROCESSOR SYSTEMS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Questions of application of microprocessor systems for their automation are considered an automation condition on existing designs of truck. It is noticed that now the majority of truck exhausted in the CIS are automated only partially. By automation are captured: control, preliminary treatment of a condition of systems and the information on them; control of start, partially control by power-plant work; control of sprinkling fuel; control of power supply; control of brakes, antiblocking systems, airbags; climate control maintenance; illumination.

Scopes of microprocessor systems in cars and microcontrollers used for this purpose taking into account that now it is required to expand areas of automation of systems of cars considerably are considered. The analysis of systems and the functions which are subject to automation for truck and special cars is carried, questions of application of microprocessor systems for reception of experimental data on roads (microprofile and longitudinal cross-section) and their use at car modelling, and also maintenance of road safety: distance maintenance between cars, control of blind zones; an exception засыпания the driver during movement, reduction of harmful influence from noise and vibrations.

It is offered complexing realised functions and systems of their control. The short description and a substantiation of expediency of application of means of automation on the basis of the cheap microprocessor modules Arduino is given, allowing considerably to reduce quantity of used microcontrollers. Block diagrammes of realisation of problems of traction dynamics in

package MatLab/Simulink, transformations and horizonting of truck and special cars by means of MC Arduino are resulted. Recommendations to introduction of systems of automation for truck and special cars are made.

Keywords: Automation, the Truck, vibrations, traction dynamics, microprocessor modules and control systems, Arduino.



Михайлов Владимир Георгиевич канд. техн. наук 05.05.03, РБ, Минск, Специалист в области разработки систем CALS/PLM (PDM, ERP), программирования, автомобилестроения, моделирования динамических систем в пакетах MATLAB\SIMULIK, оценки напряженно-деформированного состояния в пакете ANSYS, испытаний подвесок, рам ТС, пневматики, гидравлики, тензометрирования,

Tel.: + 375-(029)785-09-16. E-mail: sapr7@mail.ru.

Mikhailov V. G. (S'72–M'76–SM'80) received the D. degree (Cand. Tech. Sci., mechanical Engineering) from the Belarussian Polytechnical institute of Belarus, Minsk, in 1982.

He was a Senior Research and Engineer-designer at Minsk Automobile plant, from 1972 to 1984, Leading Research, Chief of Research laboratory in CenterSystem, Minsk (design and development ERP) from 1984 to 1991, and was leading Engineer-designer at Minsk Wheel plant from 1994 to 2010, from 2010 to 2017 was a leading engineer of Open Stock Company «Midivisana», Republic Belarus, Minsk. His research interests include design and development of Software PDM, ERP, application Oracle on C++, PL/SQL, Java, programming MC, modeling dynamic systems, vibration.

The expert in the field of system engineering CALS/PLM (PDM, ERP), programming MC, motor industry, modeling of dynamic systems in packets MATLAB\SIMULIK (with S-Function Builder), estimations of the intense-deformed state in packet ANSYS, to tests of suspension, frames of the vechicle, a pneumatics, hydraulics.

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

УДК 51-7

В. М. РОМАНЧАК

ИЗМЕРЕНИЕ НЕФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Белорусский национальный технический университет

Физическая величина отличается от нефизической величины способом измерения. Кроме того, при измерении физических величин рассматривают понятие одинаковых по величине объектов. Например, равновероятные исходы в классической теории вероятности или равенство цены деления измерительной шкалы. Для нефизической величины мы предлагаем проводить измерения путем субъективного оценивания в шкале порядка, а кроме того использовать понятие последовательности одинаково отличающихся объектов. Такой подход успешно используется в некоторых исследованиях для субъективной характеристики величины объектов. К примеру, последовательность звезд на небе различной яркости или уровни сложности теста. Номера членов такой последовательности назовем рейтингом. Определив рейтинг, можно найти значения величины, если считать, что одинаково отличающимся объектам соответствует одинаковый результат парного сравнения. Поскольку эксперт сравнивает объекты, не определяя величину объектов, то естественно предположить, что способ сравнения ему не известен. Это означает, что в качестве математической модели мы определили косвенный способ нахождения значений нефизической величины при неизвестном способе сравнения. Выбрав способ сравнения, каждому объекту можно поставить в соответствие число, которое будем называть субъективным размером объекта. В метрологии способов численного сравнения физических величин всего два – это разность и отношение. Поэтому при оценке субъективных величин ограничимся двумя способами – разностью и отношением размеров величин.

В качестве примера применения теории анализируется функциональная связь, между физической величиной и нефизической величиной, устанавливаемая эмпирическими законами. Отмечается, что эмпирические законы Фехнера и Стивенса используют разность или отношение субъективных величин. Но разницу или отношения величин можно выразить через разность рейтингов. Поэтому есть возможность для каждого закона получить соотношение между разностью рейтингов и физической величиной. Совпадение двух законов Фехнера и Стивенса, после перехода к рейтингу, подтверждает адекватность нашей модели.

Ключевые слова: законы Фехнера, Стивенса; функция полезности; нечеткие множества.

Введение

Под величиной в метрологии понимают нематериальное свойство, общее в качественном отношении ко многим объектам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них [1].

Измерить нефизическую величину можно в шкале порядка [2]. Недостатком такой шкалы является то, что арифметические операции в порядковой шкале недопустимы. У нефизических величин, которые существуют только в сознании людей, нет размеров – поэтому их нельзя делить или вычитать [3]. Размер нефизической величины мы определим косвенно. Для этого вводится понятие последовательности одинаково отличающихся объектов. Номер объекта в такой последовательности мы называем рейтингом. Используя рейтинг можно построить математическую модель для на-

хождения нефизической величины, причем значения ее уже можно будет вычитать или делить.

Измерение величины

Любое измерение представляет собой сравнение размеров опытным путем [1]. В метрологии числовому результату сравнения соответствуют только два способа – разность и отношение размеров величин [1].

Замечание. Вместо отношения нам будет удобно рассматривать логарифм отношения.

Определим функцию для сравнения размеров измеряемой величины [1].

Пусть $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots$ – конечное или счетное множество объектов, для которых существуют значения $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$ – величины X , i – порядковый номер объекта ω_i . *Определение.* Результат сравнения для величины X – это чис-

ловая функция $R(i, j)$, определенная на множестве пар (i, j) такая, что

1. Каждой паре объектов (ω_i, ω_j) поставлено в соответствие число $R(i, j)$, $i, j = 1, 2, 3, \dots$

2. В зависимости от способа сравнения: $R(i, j) = x_i - x_j$, или $R(i, j) = \ln(x_i/x_j)$, $x_i, x_j > 0$.

Для физической величины способ сравнения считается известным. Для нефизической величины, по мнению метрологов, единственным способом измерения является оценка ее проявления по шкале порядка [2]. Значения нефизической величины нельзя вычитать или делить [3]. Это означает, что способ измерения нефизической величины не определен. Получить значения нефизической величины мы сможем косвенно. Для этого нам понадобится новое понятие – последовательность одинаково отличающихся объектов.

Последовательность одинаково отличающихся объектов

Понятие равновероятных исходов является неопределяемым при оценке вероятностной меры и принимается на основании мнения эксперта. Например, при подбрасывании монеты эксперт может интуитивно считать, что стороны монеты достаточно симметричны и будут выпадать с одинаковой вероятностью. Классическое определение вероятности сводит вычисление вероятности к понятию «одинаковых» объектов, которое считается основным и не подлежит формальному определению. В нашем случае априорно определяемым понятием будет последовательность одинаково отличающихся объектов. Это означает, что эксперт может построить или указать последовательность объектов, которые одинаково отличаются друг от друга. Так, например:

1. Астроном Гиппарх [7], наблюдая за звездами, разделил их по яркости на шесть величин, где первая величина – самый яркий объект, а шестая – наиболее тусклый. Промежуточные величины он распределил равномерно между оставшимися звёздами.

2. Фехнер [6] рассматривал «едва заметные различия» субъективных ощущений. Например, эксперт сравнивает вес двух объектов. Вес второго объекта увеличивается до тех пор, пока эксперт не говорит «стал больше». Так последовательно строятся объекты, которые упорядочены по возрастанию веса и едва заметно

различаются. «Едва заметные различия» Фехнер считал равными потому, что эксперт просто отмечает, когда наступает едва заметное различие и субъективно для него все различия одинаковы.

3. Терстоун [4] использовал шкалу равнокажущихся интервалов для измерения исследуемых психологических и социальных характеристик. Отличительной особенностью шкалы Терстоуна является то, что интервалы между показателями соседних высказываний субъективно примерно одинаковы. Такое свойство шкалы достигается за счет метода ее построения.

В разобранных примерах рассматривается нефизическая величина и последовательность объектов, которые интуитивно оцениваются как одинаково отличающиеся. Одинаково отличающиеся объекты могут служить опорными точками для оценки значения величины произвольного объекта.

Будем считать, что если объекты кажутся эксперту одинаково отличающимися, то результат сравнения последовательных пар должен быть постоянной величиной. Определим основное свойство (аксиому) последовательности одинаково отличающихся объектов.

Свойство C1. Если $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots$ – последовательность одинаково отличающихся объектов, то результат сравнения последовательных пар объектов является постоянной величиной, $R(i, i+1) = C$, где $C = \text{const}$.

Измерение нефизической величины

Пусть $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots$ – конечная или счетная последовательность объектов, которые характеризует нефизическая величина X .

Определение. Если $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots$ – последовательность одинаково отличающихся объектов, то порядковый номер i будем называть значением рейтинга.

Выясним теперь, каким образом рейтинг связан с величиной. Из Свойства C1 следует, что разности или отношения значений постоянны. Поэтому

$$x_{i+1} - x_i = a, \quad (1)$$

или

$$\frac{x_{i+1}}{x_i} = b. \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, a, b$ – некоторые постоянные.

Тогда

$$x_i - x_j = a(i - j), \quad (3)$$

или

$$\frac{x_i}{x_j} = b^{i-j}. \quad (4)$$

Функцию результат сравнения $R(i, j)$, определенную на множестве последовательных пар, можно продолжить естественным образом на множество произвольных пар. Удобно считать, что $R(i, i + 1) = 1$, $i = 1, 2, 3, \dots$, тогда $R(i, j) = i - j$, $i, j = 1, 2, 3, \dots$

Таким образом, результат сравнения одинаково отличающихся объектов $R(i, j)$ равен разности рейтингов и действительно не зависит от способа сравнения. Выражения (3) и (4) можно записать, используя функцию $R(i, j)$:

$$x_i - x_j = aR(i, j), \quad (5)$$

или

$$\ln(x_i/x_j) = b_1 R(i, j). \quad (6)$$

где a, b_1 – постоянные, i и j – значения рейтинга.

A1. Теперь мы можем сформулировать аксиому нефизического измерения.

A2. Результат сравнения $R(i, j)$ для нефизической величины X не зависит от способа сравнения.

Выражения (5) и (6) можно рассматривать в качестве обоснования аксиомы измерения нефизической величины. Аксиома A1 отражает особенность измерения нефизических величин. Нефизическая величина существует только в сознании людей. У нее нет измеряемых размеров и, соответственно, нельзя определить способ сравнения. Эксперт может только построить последовательность одинаково отличающихся объектов и определить ранг объекта. Кроме того, мы приходим к выводу, что значения нефизической величины X зависят от способа сравнения. Здесь нет логического противоречия, поскольку размер величины в данном случае – это следствие математической обработки; числа, которые исследователь для удобства приписывает объектам.

Замечание. Способов сравнения можно предложить много, но в теории измерений в качестве основных используют только два – разность и отношение размеров [2]. Если придумать еще какой-либо способ сравнения, то в наших рассуждениях ничего не изменится.

Пример нефизического измерения

Исследователь просит эксперта сравнить площади кругов (таблица). В первой строке таблицы находится рейтинг объекта. Эксперт считает, что данные круги являются последовательностью одинаково отличающихся объектов.

Одинаково отличающиеся объекты

r_i	1	2	3	4	5	6
x_i						

Значит, если во время эксперимента, исследователь просит сравнить отношение площадей, то эксперт ответит, что площадь второго круга в b раз больше площади первого, площадь третьего в b раз больше площади второго и так далее. Здесь b – некоторое число, которое постоянно для каждого сравнения (свойств C1). В данном случае исследователь выбрал операцию сравнения – отношение значений. Поэтому должно выполняться (2) и (4).

Пусть теперь исследователь просит оценить насколько площадь второго круга больше площади первого. Это означает, что исследователь выбрал в качестве операции сравнения разность значений. Эксперт не сравнивает площади (напомним, что субъективная площадь – это число, которое исследователь приписывает каждому объекту). Тем не менее, он может провести сравнение площадей двух объектов без учета способа сравнения (аксиома A1). Ориентируясь на рейтинг объекта, эксперт должен ответить, что площадь второго круга на величину a больше площади первого, площадь третьего на величину a больше площади второго и так далее, поскольку все результаты парных сравнений равны (свойств C1). Если ответы эксперта непротиворечивы, то они должны удовлетворять соотношению (3) и (5).

В итоге, для одних и тех же объектов получены различные размеры для субъективного ощущения площади. Это происходит потому, что эксперт не выполняет операцию деления или вычитания значений величины, а строит последовательность одинаково отличающихся объектов и находит их рейтинг. Более того, эксперт ничего не знает и про способ сравнения (способ сравнения ему указывает исследователь). Дополнительно исследователь определя-

ет значения субъективных величин – эти значения уже можно делить или вычитать. Поскольку в законе Фехнера участвуют разности значений субъективных величин, а в законе Стивенса отношение значений, то эти законы выберем для проверки адекватности модели субъективных измерений.

Законы Стивенса и Фехнера

Для проверки модели измерения нефизической величины нам понадобятся законы Фехнера и Стивенса [4]. Законы Стивенса и Фехнера связывают физические и соответствующие нефизические величины. Например, вес груза, измеряемый прибором, и вес, оцениваемый человеком.

Закон Фехнера [5] устанавливает связь между разностью значений нефизической величины x_i , x_j и значениями физической величины q_i , q_j :

$$x_i - x_j = c \ln \left(\frac{q_i}{q_j} \right), \quad (7)$$

где $i, j = 1, \dots, n$, c – постоянная.

Закон Стивенса [6] предложен для замены закона Фехнера. По мнению Стивенса зависимость нефизической величины от физической величины описывается степенной функцией:

$$\frac{x_i}{x_j} = \left(\frac{q_i}{q_j} \right)^\alpha, \quad (8)$$

где $i, j = 1, \dots, n$, x_i , x_j – значения нефизической величины, q_i – значение физической величины сигнала, α – постоянная.

Спор о том, какой из законов является более точным, продолжается в течение длительного времени с привлечением эмпирических данных. Мы применим к законам аксиому измерения нефизической величины и докажем эквивалентность законов.

Пусть нефизическая величина X связана с физической величиной Q законом Фехнера (7). Выберем последовательность одинаково отличающихся объектов $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$. Подставив разность значений (3), в закон Фехнера (7), получим:

$$(i - j)a = c \ln \left(\frac{q_i}{q_j} \right), \quad (9)$$

где c – известная постоянная, a – постоянная, q_i , q_j – значения физической величины $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Из закона Стивенса (8) на основании (4) получим

$$(i - j) \ln(b) = \alpha \ln \left(\frac{q_i}{q_j} \right) \quad (10)$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n$, α – известная постоянная, b – постоянная.

Мы видим, что законы Стивенса (10) и Фехнера (9) перехода к рейтингу совпадают и могут быть записаны в едином виде

$$mR(i, j) = \ln \left(\frac{q_i}{q_j} \right), \quad (11)$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n$, $R(i, j)$ – результат сравнения, m – постоянная, q_i , q_j – значения физической величины.

Совпадение законов Фехнера и Стивенса подтверждает нашу модель и гипотезу, что «... природа не наделила человека способностью сравнивать между собой разные свойства или их проявления в числовом формате» [3]. Следовательно, есть основания считать, что эксперт оценивает разность значений и отношение значений, имея в виду рейтинг, а не размер величины. Таким образом, мы подтвердили модель нефизического измерения.

Замечание. Мы пришли к выводу, что оба закона, в определенном смысле, эквивалентны. Обычно считается, что законы Фехнера и Стивенса это два различных закона. Поясним, почему так происходит, используя упрощенный числовой пример. Пусть мы сравниваем одинаково отличающиеся объекты из Таблицы. Будем считать, что с точки зрения эксперта, площадь первого круга равна единицы и площади рядом стоящих кругов отличаются в два раза. Тогда получим следующую последовательность значений для площади круга:

$$1, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5. \quad (12)$$

Конечно, мы можем сравнивать не только рядом стоящие пары объектов. Чтобы быть адекватным, эксперт должен бы ответить, что третий круг на два порядка больше первого (2^2), а четвертый круг на три порядка (2^3) больше первого. На самом деле, когда Стивенс просил своих испытуемых сообщать во сколько раз одно ощущение больше другого, то ис-

пытуемый делал то, что он может делать – оценивал величину объекта в порядковой шкале и сообщал отношение рейтингов объектов, а не размеров. Например, что второй круг в два раза больше первого, третий в три раза больше первого и так далее. В этом случае последовательность субъективных оценок площади

$$1, 2, 3, 4, 5, 6. \quad (13)$$

Оценки (12) – сроятся на основании рейтинга объектов, оценки (13) являются рейтингом объектов. Оценки (13) соответствуют закону Стивенса, оценки (12) – модели нефизического измерения величины (11).

Закключение

В работе сформулирована рейтинговая модель измерения, которая включает в себя постулат нефизического измерения: результат сравнения не должен зависеть от способа сравнения. В качестве обоснования приводится доказательство эквивалентности законов Фехнера и Стивенса.

Предложенная в статье модель измерения нефизической величины может применяться при экспертном анализе систем [8], [9], [10] для измерения полезности [11], качества объектов [12], субъективной вероятности [13], [14] в теории нечетких множеств [15].

Литература

1. **Шишкин, И. Ф.** Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений: Учебник для вузов. /И. Ф. Шишкин.– СПб.: Издательство «Питер», 2010. – 192 с.
2. **Шишкин, И. Ф.** Субъективные измерения / И. Ф. Шишкин // Экономика качества. – 2015. – №. 11–12. – С. 48–58.
3. **Шишкин, И. Ф.** Измерения нефизических величин (измерения в ноосфере) / И. Ф. Шишкин // Электронный журнал «Экономика качества». Режим доступа: www.eq-journal.ru. – 2016. – № 2 (14).
4. **Гусев, А. Н.** Психологические измерения: Теория. Методы: Общепсихологический практикум / А. Н. Гусев, И. С. Уточкин. – М.: Аспект Пресс, 2011. – 317 с.
5. **Фехнер, Г. Т.** О формуле измерения ощущений / Г. Т. Фехнер // Проблемы и методы психофизики/ Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во МГУ, 1974. С. 13–19.
6. **Стивенс, С. С.** О психофизическом законе / С. С. Стивенс // Проблемы и методы психофизики / Под ред. А. Г. Асмолова, М. Б. Михалевской. М.: Изд-во МГУ, 1974. С. 56–102.
7. Берри, А. Краткая история астрономии. М.: Гостехиздат, 1946. Пер. с англ. Займовского С. Г. /А. Берри. – ОГИЗ, М-Л., 1946. – 363 с.
8. **Черноруцкий, И. Г.** Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. – БХВ-Петербург–2005. – 416 с.
9. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
10. **Дэвид, Г.** Метод парных сравнений: с приложением к русскому переводу / Г. Дэвид. – М.: Статистика, 1978. – 144 с.
11. **Кини, Р. Л.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
12. **Методы менеджмента качества.** Методология управления риском стандартизации П. С. Серенков, В. Л. Гуревич, В. М. Романчук, и др./ П. С. Серенков[и др.]. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2011. – 491 с.
13. **Крокер, Л.** Введение в классическую и современную теорию тестов / Л. Крокер; Д. Алгина. – М.: Логос, 2010. – 668 с.
14. **Тулупьев, А. Л.** Байесовские сети: Логико-вероятностный подход/ А. Л. Тулупьев, С. И. Николенко, А. В. Сироткин. – СПб.: Наука, 2006. – 607 с.
15. **Штовба, С. Д.** Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба.– М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

References

1. **Shishkin I. F.** 1. Common theory of measurements: The textbook for higher education institutions. – 4 prod., reslave. and additional / I. F. Shishkin. – SPb.: St. Petersburg publishing house, 2010. – 192 pages.
2. **Shishkin I. F.** Subjective measurements // Ekonomik of quality. – 2015. – No. 11–12. – Page 48–58.
3. **Shishkin I. F.** Measurements of nonphysical sizes (measurements in a noosphere)// the Online magazine of a «Ekonomik of quality ». Access mode: www.eq-journal.ru. – 2016. – No. 2 (14).
4. **Gusev A. N., Utochkin I. S.** Psychological measurements: Theory. Methods: All-psychological practical work / A. N. Gusev, I. S. Utochkin. – M.: Aspect Press, 2011. – 317 pages.
5. **Fekhnner G. T.** About a formula of measurement of feelings // Problems and methods of psychophysis / Under the editorship of A. G. Asmolov, M. B. Mikhalevskaya. M.: MSU publishing house, 1974. Page 13–19.
6. **Stephens S. S.** About the psychophysical law // Problems and methods of psychophysis / Under the editorship of A. G. Asmolov, M. B. Mikhalevskaya. M.: MSU publishing house, 1974. Page 56–102.
7. **Berri A.** Short history of astronomy. M.: Gostekhizdat, 1946. The lane from English Zaymovsky S. G. / A. Berri. – OGIZ, M-L., 1946. – 363 pages.

8. **I. G. Chernorutsky.** Decision-making methods. SPb.: BHV-Petersburg, 2005–416 p.
9. **Saaty T.** Decision making. Method of the analysis of hierarchies: The lane with English – M.: Radio and communication, 1989. – 316 pages.
10. **The method** of paired comparison: with the annex to Russian translation / H. A. David. – Moscow: Statistics, 1978. – 144 pages.
11. **Kinney R. L.,** Rayfa H. A decision making at many criteria: preferences and replacements. M.: Radio and communication, 1981. – 560 pages.
12. **Quality** management methods. Methodology of management of risk of standardization P. S. Serenkov, V. L. Gurevich, V. M. Romanchak, etc. / P. S. Serenkov. – Minsk: New knowledge; Moscow: INFRA-M, 2011. – 491 p.
13. Introduction to the classical and modern theory of tests/L. Crocker; Algina J. – Moscow: Lagos, 2010. – 668 pages.
14. **Tulupye A. L.,** Nikolenko S. I., Sirotkin A. V. Bayesian Networks: A Probabilistic Logic Approach. – St. Petersburg: Nauka, 2006. – 607 p.
15. **Shtovba S. D.** Fuzzy systems designing by means of MATLAB. M: Goryachaya liniya – Telekom. M., 2007. – 288 p.

Поступила
20.09.2017

После доработки
24.10.2017

Принята к печати
15.12.2017

Romanchak V. M.

MODEL OF RATING OF NON PHYSICAL QUANTITY

Belarusian National Technical University

Physical quantities are distinguished from non-physical quantities the method of measurement. In addition, when measuring physical quantities, the concept of identical objects is considered. For example, is equally likely outcomes in classical probability theory or equality of scale interval of a measuring scale. For nonphysical size we will take measurements by subjective estimation in an order scale, but also to use an undefined notion of the sequence of equally different objects. This approach has been used successfully in some researches for subjective characteristics of the objects. For example, the sequence of stars in the sky of various brightness or levels of difficulty of the test. The numbers of members of such a sequence are called ratings. Having defined rating, it is possible to find values of size if to consider that to equally different objects there corresponds the identical result of paired comparison. As the expert compares objects, without determining the sizes of objects, it is natural to assume that the way of comparison is not known to him. It means that as mathematical model we defined an indirect way of finding of values of nonphysical size at an unknown way of comparison. Having chosen a way of comparison, each object can put number which we will call the subjective size of an object in compliance. In a metrology of ways of numerical comparison of physical quantities only two is a difference and the relation. Therefore at assessment of subjective sizes we will be limited in two ways – a difference and the relation of the sizes of sizes.

As an example of application of the theory the functional communication, between physical quantity and nonphysical size, established by empirical laws is analyzed. It is noted that Fekhnner and Stephens's empirical laws use a difference or the relation of subjective sizes. But the difference or the relations of sizes can be expressed through the difference of ratings. Therefore there is an opportunity for each law to receive a ratio between the difference of ratings and physical quantity. Coincidence of two laws of Fekhnner and Stephens, after transition to rating, confirms reliability of our model.

Keywords: Fekhnner, Stephens's laws; utility function; fuzzy sets.



Романчак Василий Михайлович – доцент кафедры инженерной математики БНТУ, кандидат физ.-мат. наук (1987), доцент (1991). Научные интересы в области обработки экспертных оценок и методов непараметрической аппроксимации (метод сингулярных вейвлетов). Опубликовано более 20 журнальных публикаций и монография.

Ramanchak Vasily Mikhaylovich is the associate professor of engineering mathematics of BNTU, the candidate of physical and mathematical sciences (1987), associate professor (1991). Scientific interests in the field of processing of expert estimates and methods of nonparametric approximation (method of singular wavelet). More than 20 journal publications and the monograph are published.

УДК 004.[932.75'1+89]

Я. А. БУРЫЙ, Д. И. САМАЛЬ

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ПАРАДИГМЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСКАЖЁННОГО ТЕКСТА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В статье представлена попытка объединения эволюционных алгоритмов и нейронных сетей при проектировании и обучении системы распознавания искажённых изображений текста.

В течение последних десятилетий искусственные нейронные сети хорошо себя зарекомендовали во многих областях искусственного интеллекта, таких, например, как прогнозирование, оптимизация, анализ данных, распознавание образов и принятие решений. Тем не менее, традиционные эвристические подходы к разработке топологии многослойных нейронных сетей основываются на рекомбинации уже существующих нейросетевых архитектур. Такой подход позволяет решать широкий спектр задач, но подразумевает соблюдение специфических условий для качественной работы алгоритмов.

Естественные аналоги подобных интеллектуальных систем в живой природе, однако, достаточно универсальны, чтобы адаптироваться практически к любой среде обитания.

Несмотря на их чрезвычайную сложность и ограниченные возможности к исследованию их структур, известно, что эти конструкции были сформированы в результате эволюционного процесса. И если на сегодняшний день невозможно определить точную архитектуру связей в биологических нейросистемах, то, по крайней мере, можно попытаться воспроизвести сам процесс их формирования с целью получения более универсального алгоритма, чем те, что разработаны к настоящему моменту.

В рассматриваемой работе окончательная структура ядра системы классификации образуется в результате эволюционного процесса, с учетом известных сегодня знаний об особенностях развития и строения нервной системы позвоночных.

Использование описываемого подхода позволяет абстрагироваться от ограничений существующих нейросетевых алгоритмов, обусловленных сферой применения конкретных типов их структур.

Ключевые слова: нейронные сети, эволюционные алгоритмы, генетический алгоритм, распознавание текста.

Введение

Эволюционное моделирование, в силу близости соответствующих алгоритмов к их естественным аналогам, позволяет воспроизвести происходящие в окружающей природе процессы, целью которых является адаптация заданной стохастической модели к некоторой среде её функционирования.

В качестве прототипа такой модели целесообразно выбрать уже существующий в природе аналог разрабатываемой системы и применить к его конструированию эволюционный подход, наподобие того, как это происходило исторически, согласно известным на сегодняшний день палеонтологическим и антропологическим сведениям.

Распознавание искажённых изображений текста (далее просто – «искажённого текста»)

представляет собой одну из многих задач в направлении распознавания образов и обработки изображений. Её можно определить как нахождение некоторой последовательности символов заданного алфавита, которая максимально соответствует цифровому изображению, поданному на вход системы распознавания.

В случае распознавания искажённого текста всё изображение или его части могут быть деформированы, но не более той степени, которая делала бы невозможным распознавание начертанного текста человеком, обученным чтению.

Если абстрагироваться от семантики заданного текста, то любая текстовая конструкция укладывается в рамки стохастической модели, данной как результат взаимодействия системы с окружающей средой.

Эволюционное моделирование базируется на замене самого процесса разработки информационной системы имитацией её эволюционного развития. Наиболее развитым направлением эволюционного моделирования в настоящее время являются, так называемые, генетические алгоритмы.

Нейронные сети являются одним из подходов к построению решений задач многомерной оптимизации и имитируют мыслительную деятельность нервной системы позвоночных. Они широко используются в качестве классификаторов в системах распознавания образов. Однако существующие в настоящее время системы распознавания текста, в том числе на базе нейронных сетей, не обладают достаточной инвариантностью к существенным изменениям размеров, а также к различным неафинным и/или нелинейным преобразованиям (например, волнообразным, сгибающим, растягивающим, сдвигающим и т. п. искажениям) изображений распознаваемых символов.

Постановка задачи

Разработанные к настоящему моменту методы и подходы к классификации и распознаванию образов основываются на математических преобразованиях в многомерных пространствах признаков. Несмотря на разнообразие используемых метрик и то, что в качестве признаков могут выступать достаточно сложные характеристики входных образов, эти признаки гиперпространства обладают свойствами конечномерных евклидовых пространств.

Этого может быть вполне достаточно для описания исходных объектов распознавания, однако, в случае распознавания искажённых изображений (рис. 1), пространство признаков, в котором задано описание объекта, анизотропно. В таком случае конкретное распознаваемое изображение есть представление объекта в одном из тензорных полей на исходном пространстве признаков, а все возможные вариации допустимых искажений есть не что иное, как тензорное расслоение на этом пространстве.

Теоретически возможно восстановить исходное описание объекта в изначальном изотропном признаковом пространстве и для даль-

нейшей классификации использовать существующий математический аппарат, но для этого необходимо точно установить характеристики тензорного поля, в котором дано искажённое описание образа. Это значит, что в заданном тензорном расслоении необходимо отыскать такое сечение, которое в точности отображает исходный эталонный неискажённый образ одного из символов алфавита на распознаваемое изображение. При этом этот найденный эталонный символ и будет соответствовать решению задачи распознавания.

Проблема обладает свойствами каскадной задачи оптимизации, где необходимо решить следующие подзадачи:

- построение такого тензорного расслоения, которое реализует в каком-то приближении все возможные допустимые искажения исходного пространства признаков;
- устранение искажений из изображения, т. е. нахождение вышеуказанного отображающего сечения в тензорном расслоении;
- распознавание восстановленного неискажённого образа в исходном изотропном признаковом пространстве.

Решению данной проблемы прямыми численными методами, например, полным перебором (при поддержке уже разработанных механизмов с доказанной эффективностью), препятствует экспоненциальный рост и без того существенных вычислительных затрат, выраженных количеством операций с плавающей запятой. Это обусловлено тем, что размерности векторных расслоений на топологических многообразиях могут на порядки превышать размерности самих исходных многообразий.

Однако в природе, как известно, имеется более элегантное и менее требовательное к вычислительным ресурсам решение – система восприятия человека.

Если рассматривать это решение в историческом контексте с точки зрения имеющейся к настоящему моменту информации о его строении и развитии, можно определить в нём некоторые однозначные характеристики, такие как очевидный нейросетевой характер архитектуры, а также эволюционную природу процесса формирования структуры связей между нейронами.

Многослойные нейронные сети способны с различной точностью аппроксимировать лю-



Рис. 1. Искажённое изображение текста

бую из существующих логических функций [1]. Следовательно, стохастическое описание эволюционно сформированной зрительной системы человека может быть дано с точки зрения нейросетевого моделирования.

Существуют различные способы использования системы распознавания. С одной стороны, это может подразумевать распознавание длинных кусков текста, с другой – система может использоваться для анализа коротких текстов ограниченного алфавита с хорошо различаемыми символами, таких как паспортные данные, адреса домов на улице и т. п. При этом с эволюционной точки зрения вторая будет являться прародителем первой, т. к. функционально значительно проще и предоставляет разработчику широкие возможности для её конструирования.

Таким образом, можно сформулировать следующую *гипотезу*: с помощью эволюционного моделирования за конечное число итераций соответствующего алгоритма можно построить такую архитектуру связей нейронной сети, которая будет способна распознавать с заданной точностью искажённые изображения коротких участков текста, написанного ограниченным алфавитом хорошо различающихся между собой символов.

Задачей данного исследования является проверка указанной гипотезы.

Обычно приспособленность каждой особи (генотипа) оценивается значением среднеквадратической погрешности, рассчитанной по соответствующей этой особи нейронной сети (фенотипу) [2]. В данной работе под «особью» будет подразумеваться конкретный вариант структуры нейронной сети, включающий в себя матрицы связей и весовых коэффициентов.

Таким образом, в экспериментальной проверке гипотезы необходимо исследовать следующие основные и вспомогательные выходные характеристики системы распознавания, полученные в результате функционирования соответствующего эволюционного алгоритма и имеющие значение с точки зрения оценки качества полученного результата:

- среднеквадратическая ошибка распознавания символов текста

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (e_{i,j})^2}{NM}},$$

где $e_{i,j}$ – ошибка распознавания j -го символа i -го текста из тестирующей выборки;

- абсолютная точность распознавания. Этот параметр является основным для оценки качества полученной системы распознавания с точки зрения её применения, т. к. означает, какая именно часть изображений текста распознана успешно. Рассчитывается по формуле:

$$\tau = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M E_{i,j}}{NM},$$

где

$$E_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } i, j\text{-й символ распознан} \\ & \text{с ошибкой,} \\ 0, & \text{если } i, j\text{-й символ распознан} \\ & \text{без ошибки.} \end{cases}$$

Кроме того, для оценки эффективности эволюционного алгоритма целесообразно ориентировочно оценить следующие характеристики: скорость схождения эволюционного алгоритма подбора параметров системы распознавания; вычислительная стоимость схождения эволюционного алгоритма; итоговая сложность полученной архитектуры нейронной сети.

Результаты экспериментов

Для проверки вышесформулированной гипотезы была проведена серия более чем из 50 экспериментов для различных комбинаций характеристик эволюционного процесса и проектируемой нейронной сети. Для их проведения использовалась база изображений «The Street View House Numbers (SVHN) Dataset» [3]. На рис. 2 представлены некоторые изображения из обучающей и тестирующей выборок этой базы.

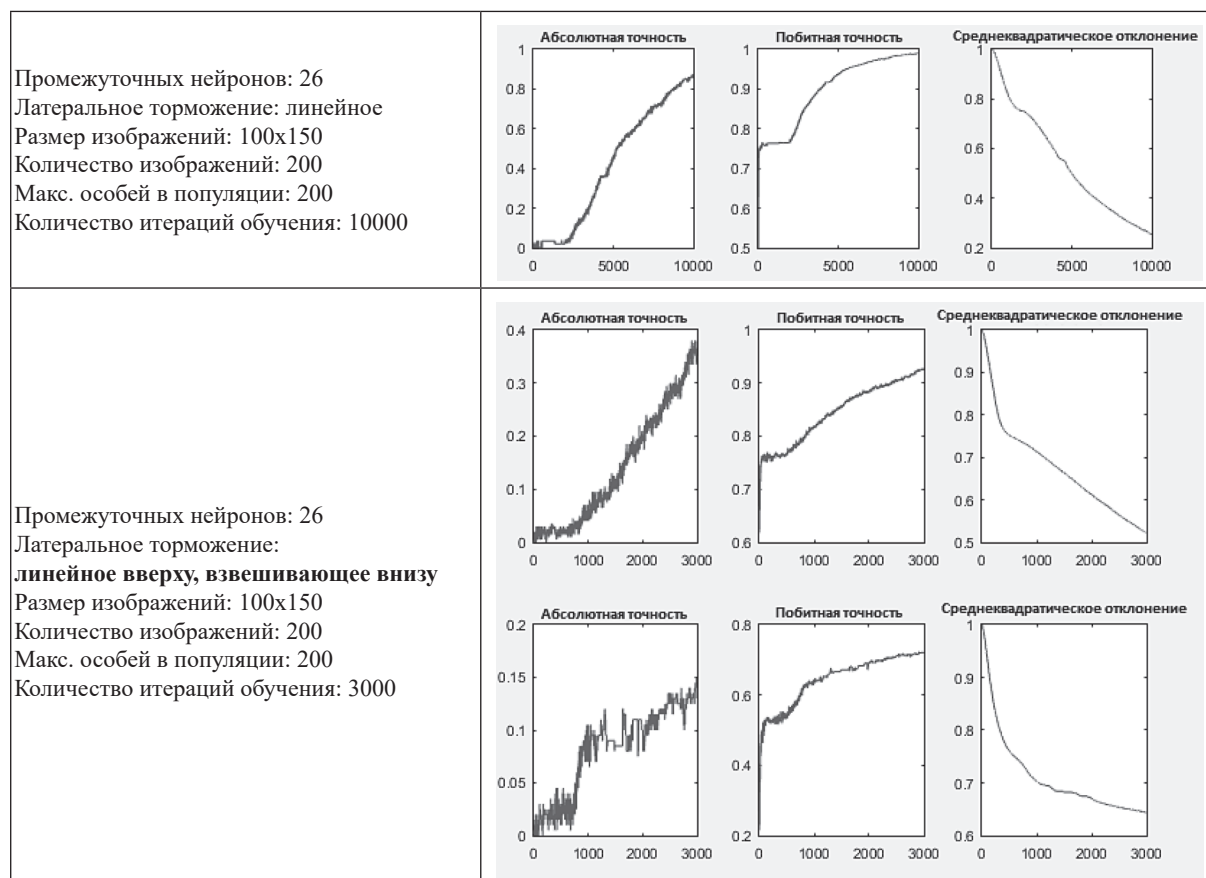
В таблице представлены отдельные экспериментальные данные, характерные для всего эксперимента в целом.

В ней приведены графики следующих выходных характеристик полученного в результате эволюционного моделирования алгоритма распознавания: абсолютная точность распознавания – отношение успешно распознанных изображений к общему количеству изображений в тестовой выборке, побитная точность – отношение успешно распознанных бит в коде выходного сигнала к общему количеству бит сигнала по всей выборке, среднеква-



Рис. 2. Примеры изображений из базы SVHN

Результаты работы генетического алгоритма настройки системы распознавания



дратическое отклонение ошибки выходного сигнала. В данной серии экспериментов под «битами сигнала» подразумевается битовое представление кода распознанного числа.

Из графиков видно, как в результате работы генетического алгоритма настройки нейронной сети происходит устойчивое последовательное улучшение целевых функций, что говорит о принципиальной возможности нахождения архитектуры связей нейронной сети для распознавания искажённого текста с помощью эволюционного моделирования, а также

о жизнеспособности конкретного выбранного эволюционного решения.

Несмотря на то, что в качестве основной взвешивающей функции алгоритма оптимизации используется среднеквадратическое отклонение, на графиках хорошо видно, что вместе с падением ошибки абсолютная и побитная точность устойчиво растут к единице. При различных числовых и структурных характеристиках эволюционного алгоритма и проектируемой нейронной сети наблюдалась большая относительная разница в скорости схож-

дения алгоритма. Для разных комбинаций указанных параметров достигнутое за конечное количество шагов значение среднеквадратической ошибки варьировалось в пределах интервала $\varepsilon \in [0.1, 0.6]$, при пороговых значениях выхода нейрона $y \in [-1, 1]$, и в среднем составило $\varepsilon = 0.2$. Примерно в 86% всех случаев наблюдалось устойчивое улучшение целевых функций по траектории, близкой к логарифмическому закону. Оставшиеся 14% случаев схождения целевой функции к локальному минимуму градиента имели место при экстремальных значениях характеристик алгоритма.

Также заметно, что применение линейного порогового элемента в качестве функции латерального торможения показывает заметно лучший результат, т. к. в этом случае используется только одна матрица весовых коэффициентов,

что значительно уменьшает сложность эволюционного алгоритма, а также требования системы к вычислительным ресурсам.

Кроме того, в ходе экспериментов были обнаружены технические ограничения, указывающие на необходимость ряда улучшений алгоритма с целью уменьшения требований к памяти и процессорному времени.

Заключение

На основе анализа экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что изначальная гипотеза может быть принята с вероятностью 86%. В то же время, для достижения более значимых результатов, на последующих этапах работы системы целесообразно применять так же семантический анализ распознанных вариантов текста.

Литература

1. Хижняков, Ю. Н. Алгоритмы нечеткого, нейронного и нейро-нечеткого управления в системах реального времени / Ю. Н. Хижняков. – Пермь: ПНИПУ, 2013. – 160 с.
2. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
3. База изображений The Street View House Numbers (SVHN) Dataset – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ufldl.stanford.edu/housenumbers>. – Дата доступа: 01.10.2017.
4. Плотников, А. Д. Математическое программирование / А. Д. Плотников – Минск: Новое знание, 2007. – 171 с.
5. Головкин, В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн. 4 / В. А. Головкин, Общая ред. А. И. Галущкин – М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.
6. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д. К. Монтгомери, Л.: Судостроение, 1980. – 384 с.
7. Хайкин, С. Нейронные сети. Полный курс / С. Хайкин. – М., СПб., Киев: Вильямс, 2006. – 1104 с.

References

1. Hizhnjakov, Ju. N. Algorithms of fuzzy, neural and neural-fuzzy control in real-time systems / Ju. N. Hizhnjakov. – Perm: PNIPU, 2013. – 160 s.
2. Rutkovskaja, D. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems / D. Rutkovskaja, M. Piliński, L. Rutkovskij – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2013. – 384 s.
3. The Street View House Numbers (SVHN) Dataset – [Electronic resource]. – Access mode: <http://ufldl.stanford.edu/housenumbers>. – Access date: 01.10.2017.
4. Plotnikov, A. D. Mathematical programming / A. D. Plotnikov – Minsk: Novoe znanie, 2007. – 171 s.
5. Golovko, V. A. Neural networks: training, organization and application. Kn. 4 / V. A. Golovko, A. I. Galushkin – M.: IPRZhR, 2001. – 256 s.
6. Montgomeri, D. K. Experiment planning and data analysis / D. K. Montgomeri, L.: Sudostroenie, 1980. – 384 s.
7. Hajkin, S. Neural networks. Full course / S. Hajkin. – M., SPb., Kiev: Vil'jams, 2006. – 1104 s.

Поступила После доработки
17.10.2017

Принята к печати
15.11.2017

15.12.2017

Bury Y. A., Samal D. I.

APPLICATION OF THE EVOLUTIONARY PARADIGM TO DESIGNING ARCHITECTURE OF A NEURAL NETWORK FOR RECOGNIZING THE DISTORTED TEXT

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

The paper presents an attempt to apply of evolutionary methods to the design and training of a system for recognizing distorted text.

Over the past decades, artificial neural networks are widely used in many areas of artificial intelligence, such as forecasting, optimization, data analysis, pattern recognition and decision making. Nevertheless, the traditional heuristic approaches to design of multi-layer neural networks are based on the recombination of already existing neural network architectures.

This approach allows us to solve a wide range of problems, but implies compliance with specific conditions for the quality work of algorithms.

The natural analogues of such intelligent systems in living nature, however, are universal enough to adapt to virtually any habitat.

Despite their extreme complexity and limited ability to study their structures, it is known that these structures were formed as a result of the evolutionary process. And if today it is impossible to determine the exact architecture of the links in biological neural systems, then at least one can try to reproduce the very process of their formation in order to obtain a more universal algorithm than those developed to the present moment.

In opposite to them we form the final structure of the core of the classification system by evolutionary process, taking into account the knowledge about the features of the development and construction of the nervous system of vertebrates.

Applying of the approach makes it possible to abstract from the limitations of existing neural network algorithms, caused by the scope of application of specific types of their structures.

Keywords: *Neural networks, evolutionary algorithms, genetic algorithm, text recognition.*



Бурый Ярослав Анатольевич Ассистент кафедры электронных вычислительных машин БГУИР, аспирант кафедры электронных вычислительных машин БГУИР.

Bury Y. A. Assistant of the Department of Electronic Computing Machines BSUIR, Post-graduate student of the department of electronic computers BSUIR.
Email: edidici@tut.by



Самаль Дмитрий Иванович Зав. кафедрой электронных вычислительных машин БГУИР, кандидат технических наук, доцент.

Samal D. I. Head of the Department of Electronic Computing Machines BSUIR, Ph. D., Associate Professor.
Email: samal@bsuir.by

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

INFORMATION SECURITY

УДК 004.056.5

Т. А. АНДРИЯНОВА, С. Б. САЛОМАТИН

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИРОВАННОЙ DLP-СИСТЕМЫ ДЛЯ БЛОКИРОВАНИЯ УТЕЧЕК ИНФОРМАЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Исследуется важность использования адаптированной DLP-системы в режиме «Блокирования» утечек конфиденциальной информации компании. Приведена схема перехвата событий информационной безопасности в режиме «Копирования», анализ которой отражает главный недостаток использования данного режима – работа DLP-системы происходит только с копиями конфиденциальных документов, в то время как оригиналы доставляются получателю. Такие случаи наносят компаниям огромный ущерб, поэтому передача особо критичной информации за пределы корпоративной сети является недопустимой.

Предложено решение по переходу работы DLP-системы из режима «Копирования» в режим «Блокирования». Важно, чтобы работа DLP-системы не затрудняла выполнение сотрудниками компании штатных операций и не тормозила бизнес-процессы. Поэтому обязательным является проведение адаптации стандартной DLP-системы к специфике деятельности компании. После проводится переход адаптированной DLP-системы в режим «Блокирования».

Разработаны: процедура перехода адаптированной DLP-системы из режима «Копирования» в режим «Блокирования», схемы перехвата событий DLP-системой для двух режимов. Проведено исследование основных каналов утечки конфиденциальной информации, выделены главные утечки по типу данных и по каналу передачи. Проведен анализ работы DLP-системы в режим «Блокирования» и сделаны выводы о необходимости такого перехода.

Ключевые слова: информационная безопасность; DLP-система; блокирование утечек информации; событие информационной безопасности; защита конфиденциальной информации; детектирование информации.

Введение

Главным показателем полнофункциональной DLP-системы является качество решения ключевой для таких систем задачи – предотвращение утечки конфиденциальной информации. Однако, на сегодняшний день менее 50% компаний, которые используют DLP-системы в качестве элемента комплекса защиты информации, осуществили переход работы DLP-системы из режима «Копирования» в режим «Блокирования» утечек конфиденциальной информации. Такие компании не уверены в точности классификации конфиденциальной информации своей DLP-системой и опасаются нарушения бизнес-процессов компании. Работа DLP-системы в режиме «Копирования» не предотвращает выход конфиденциальных данных за пределы компании, а лишь указывает на свершенные инциденты информационной безопасности.

Решением проблемы перехода работы DLP-системы в режим «Блокирования» является

адаптивная настройка DLP-решения. Процедуры адаптации стандартной DLP-системы к специфике работы корпоративной сети исследовались в работе «DLP: снижение риска утечки конфиденциальной информации Банка» [1]. Результаты работы адаптированной DLP-системы доказывают, что настройка системы в соответствии со спецификой работы корпоративной сети значительно снижает количество ложных срабатываний, повышая точность детектирования конфиденциальной информации и снижая риск утечки критичной информации за пределы корпоративной сети.

В настоящем исследовании описывается работа адаптированной DLP-системы в режиме «Блокирования» попыток нелегитимной передачи конфиденциальной информации. Разработана процедура перехода DLP-системы из режима «Копирования» в режим «Блокирования», схемы перехвата событий DLP-системой для двух режимов, исследуются основные ка-

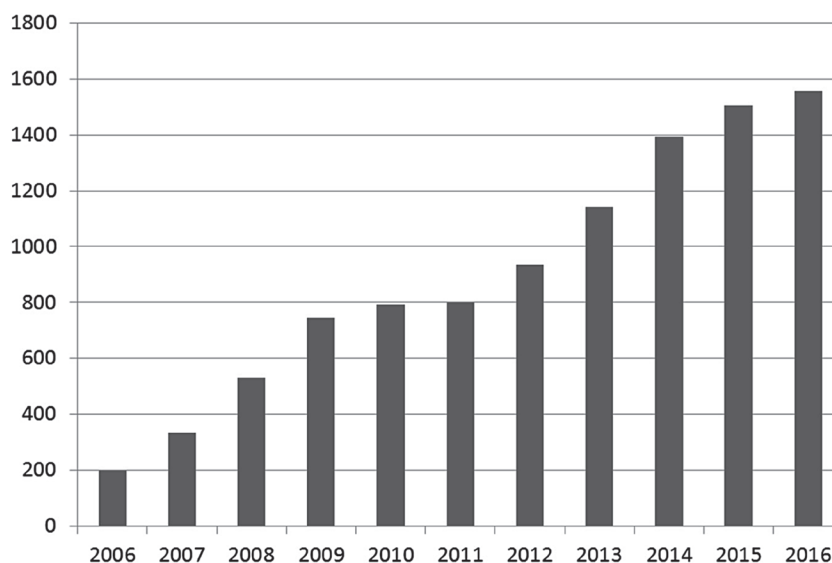


Рис. 1. Статистика количества утечек информации по годам

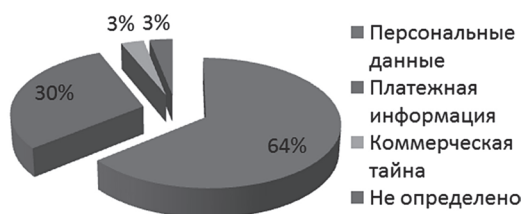


Рис. 2. Распределение утечек по типам данных

налы утечек информации, проводится анализ работы DLP-системы в режим «Блокирования».

Главные каналы утечки информации

Согласно данным аналитического центра компании InfoWatch за 2017 год, количество утечек конфиденциальной информации растет с каждым годом. В 2016 году было зафиксировано на 3,4% случаев утечки конфиденциальной информации больше, чем в 2015 году по всему миру [2]. Данные статистики отображены на рис. 1.

Согласно данным отчета об утечках конфиденциальной информации аналитического центра Zecurion Analytics, наиболее популярным каналом утечек информации на сегодняшний день стали веб-сервисы. В среднем с ними связано около четверти всех публичных инцидентов [3]. Данные аналитических отчетов центра Zecurion показывают, что больше всего инцидентов информационной безопасности связано с использованием электронной почты и копированием информации на внешние носители.

Последние данные аналитического центра компании InfoWatch за 2017 год: в 30% случа-

ев была скомпрометирована именно платежная информация, а 64% инцидентов связаны с утечкой персональных данных [2].

Анализ представленных выше данных позволяет сделать вывод, что наибольший интерес злоумышленников представляют «Персональные данные», «Платежная информация» и «Коммерческая тайна». А главными каналами утечки данных являются: использование электронной почты и внешних носителей информации.

Анализ статистики позволяет утверждать, что использование DLP-системы в банковском сегменте является необходимым. Но так как ущерб от потери критичной информации часто не поддается подсчету, то не достаточно только знать о том, что конфиденциальная информация покинула пределы корпоративной сети, но и блокировать каналы утечки.

Адаптированная DLP-система с режимами «Копирования» и «Блокирования»

На рис. 3 представлена общая схема перехвата событий DLP-системой в режиме «Копирования».

В режиме «Копирования» DLP-система только получает копии объектов. Отличие ре-

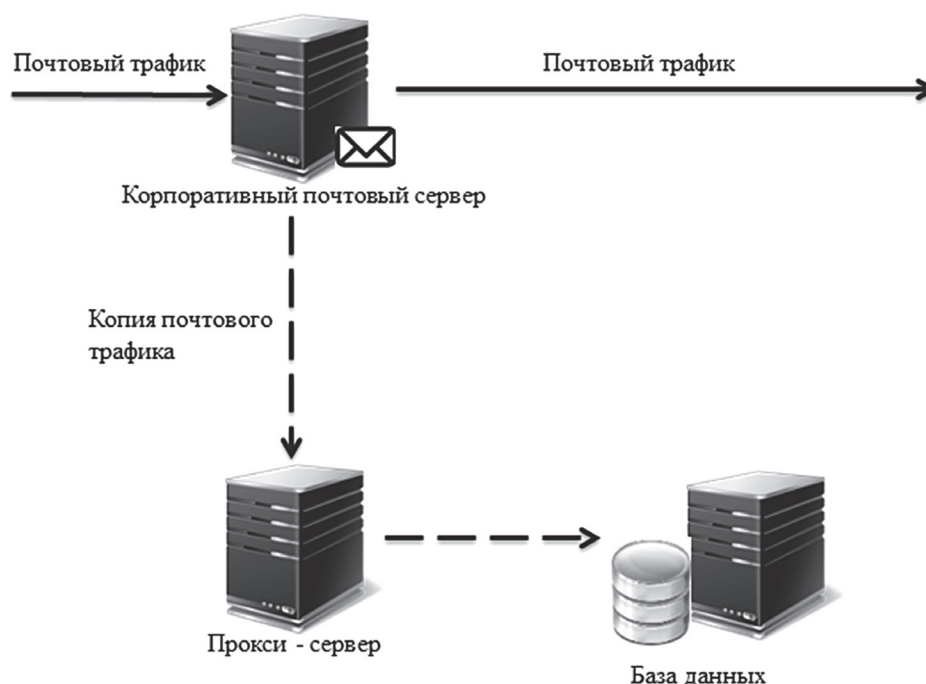


Рис. 3. Схема перехвата событий DLP-системой в режиме «Копирования»

жима «Копирования» от режима «Блокирования» заключается в том, что транспортировка объектов выполняется без участия DLP-системы. Таким образом, задачей DLP-системы является только анализ объектов. Поскольку анализ выполняется для копии объекта, то вердикт и решение пользователя, вынесенные по результатам анализа, не оказывают влияния на доставку этого объекта получателем [4].

Для перехода работы DLP-системы в режим «Блокирования» утечки информации, необходимо осуществить классификацию информационных ресурсов компании по критерию принадлежности – составить «Перечень информации ограниченного распространения компании». Далее проводится процедура перехода адаптированной DLP-системы в режим «Блокирования». Данная процедура состоит из следующих этапов:

1. Разработка алгоритмов управления DLP-системой компании – совокупность правил, в соответствии с которыми проводится анализ и обработка объектов перехвата.

2. Разработка периметров компании – создание маршрутов легитимной и нелегитимной передачи конфиденциальной информации.

3. Определение вердиктов для каждой категории нарушения – заключение о наличии или отсутствии нарушений в анализируемом событии, а также определение возможности дальнейшей транспортировки события.

4. Оценка точности детектирования информации согласно разработанным алгоритмам управления. Для тех правил, которые срабатывают практически безошибочно и редко меняются (при условии согласования рисков), вводим режим «Блокирования».

Схема перехвата событий информационной безопасности DLP-системой в режиме «Блокирования» представлена на рис. 4.

Адаптированная DLP-система анализирует сетевой и почтовый трафики. В зависимости от наличия нарушений, возможны следующие варианты движения трафика:

- если нарушение отсутствует, на прокси-сервер возвращается сообщение, разрешающее передачу трафика. Далее трафик от прокси-сервера направляется к следующему звену сети, в зависимости от инфраструктуры компании;

- если обнаруживается нарушение, на прокси-сервер возвращается сообщение, запрещающее передачу трафика. Трафик блокируется, а пользователь, отправивший трафик, получает сообщение с предупреждением.

Специалисты службы информационной безопасности компании имеют возможность доставки объекта получателю после блокирования данного сообщения. Данная возможность определяется выставлением вердикта, вынесенным по объекту. Возможные значения:

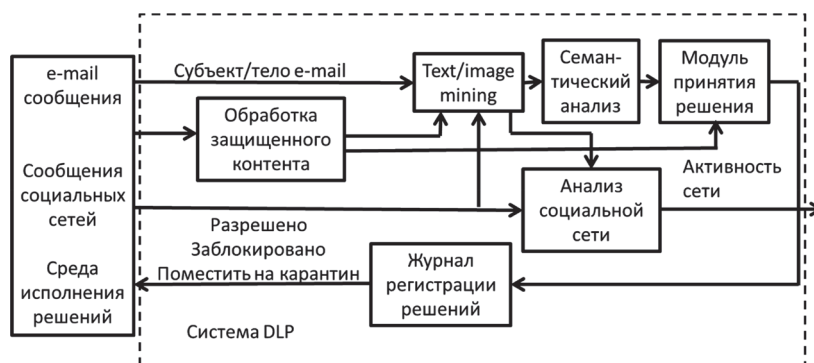


Рис. 4. Схема перехвата событий DLP-системой в режиме «Блокирования»

«Разрешено» – объект не является потенциальным нарушением и может быть доставлен получателям.

«Заблокировано» – объект является потенциальным нарушением. В режиме «Блокирования» доставка такого объекта блокируется.

«Поместить на карантин» – требуется решения пользователя, является ли объект нарушением. В режиме «Блокирования» доставка такого объекта откладывается до вынесения решения специалистом службы информационной безопасности. В зависимости от решения пользователя значение вердикта изменится либо на «Разрешено» (в этом случае выполняется доставка), либо на «Заблокировано».

Для анализа данных при попытке их отправки с компьютера сотрудника, DLP-система использует технологии лингвистического анализа, детектирования текстовых объектов, а также технологию комбинированных объектов защиты, что позволяет распознать сложные структуры данных, исключить ложные срабатывания и обеспечить высокую точность срабатывания, не нарушая работу бизнес-процессов компании [5–9].

Работа адаптированной DLP-системы в режиме «Блокирования» утечек информации позволяет специалистам службы информационной безопасности предотвращать внутренние угрозы сети непосредственно в момент их реализации. Повышение точности классификации конфиденциальных данных существенно облегчает работу службы информационной безопасности благодаря сокращению временных ресурсов, необходимых на эксплуатацию системы.

Заключение

Работа DLP-системы в режиме «Копирования» не имеет технической возможности предотвращения утечки информации. В результате, многие утечки конфиденциальной информации не пресекаются, а расследуются постфактум, что может привести к существенным потерям. Применение двухрежимной адаптированной DLP-системы позволит реализовать функции анализа, обнаружения и блокирования каналов утечки информации в корпоративных сетях.

Литература

1. Андриянова, Т. А. DLP: снижение риска утечки конфиденциальной информации Банка / Т. А. Андриянова, С. Б. Саломатин // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – № 3.
2. Аналитический центр компании InfoWatch / InfoWatch [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.infowatch.ru/analytics>. – Дата доступа: 04.09.2017.
3. Аналитический центр компании Zecurion Analytics / Zecurion [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <http://www.zecurion.ru/press/analytics/>. – Дата доступа: 30.08.2017.
4. Техническая база знаний компании InfoWatch / InfoWatch [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://kb.infowatch.com/#all-updates>. – Дата доступа: 11.08.2017.
5. Петраков, А. В. Основы практической защиты информации. / А. В. Петраков //: учеб. пособие. – М.: 2005. – 281 с.
6. Зегжда, Д. П. Основы безопасности информационных систем / Зегжда, Д. П., Ивашко, А. М. // М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 452 с.
7. Мелюк, А. А. Введение в защиту информации в автоматизированных системах / А. А. Мелюк, С. В. Пазизин, Н. Погожин // М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 48с.
8. Батаронов, И. Л. Оценка и регулирование рисков, обнаружение и предупреждение компьютерных атак на инновационные проекты / И. Л. Батаронов, А. В. Паринков, К. В. Симонов // Информатика и безопасность. – 2013. – Т. 16. – Вып. 2. – С. 243–246 с.

9. 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. Andriyanova, T. A. DLP: snizhenie riska utechki konfidencial'noj informacii Banka / T. A. Andriyanova, S. B. Salomatin // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – 2017. – № 3.
2. Analiticheskij centr kompanii InfoWatch / InfoWatch [Elektronnyj resurs]. – 2017. – Rezhim dostupa: <https://www.infowatch.ru/analytics>. – Data dostupa: 04.09.2017.
3. Analiticheskij centr kompanii Zecurion Analytics / Zecurion [Elektronnyj resurs]. – 2017. – Rezhim dostupa: <http://www.zecurion.ru/press/analytics/>. – Data dostupa: 30.08.2017.
4. Tehnicheskaja baza znanij kompanii InfoWatch / InfoWatch [Elektronnyj resurs]. – 2017. – Rezhim dostupa: <https://kb.infowatch.com/#all-updates>. – Data dostupa: 11.08.2017.
5. Petrakov, A. B. Osnovy prakticheskoj zashhity informacii. / A. B. Petrakov //: ucheb. posobie. – M.: 2005. – 281 s.
6. Zegzhda, D. P. Osnovy bezopasnosti informacionnyh sistem / Zegzhda, D. P., Ivashko, A. M. // M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2000. – 452 s.
7. Meljuk, A. A. Vvedenie v zashhitu informacii v avtomatizirovannyh sistemah / A. A. Meljuk, S. V. Pazizin, N. Pogozhin // M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2001. – 48 s.
8. Bataronov, I. L. Ocenka i regulirovanie riskov, obnaruzhenie i preduprezhdenie komp'yuternyh atak na innovacionnye proekty / I. L. Bataronov, A. V. Parinov, K. V. Simonov // Informacija i bezopasnost'. – 2013. – Т. 16. – Вып. 2. – С. 243–246 с.
9. Butuzov, V. V. K voprosu obosnovanija funkicii ushherba atakuemyh sistem / V. V. Butuzov, A. V. Zarjaev // Informacija i bezopasnost'. – 2013. – Т. 16. – Вып. 1. – С. 47–54.

Поступила
18.09.2017

После доработки
26.09.2017

Принята к печати
15.12.2017

Andryianava T. A., Salomatin S. B.

USING THE ADAPTED DLP SYSTEM FOR BLOCKING INFORMATION LEAKS

The importance of using the adapted DLP-system in the «Blocking» mode of leaking confidential information of the company is investigated. The scheme of interception of information security events in the «Copy» mode is given, the analysis of which reflects the main drawback of using this mode – the DLP-system works only with copies of confidential documents, while the originals were delivered to the recipient. Such cases inflict enormous damage on companies, so the transfer of critical information beyond the corporate network is unacceptable.

A solution is proposed for transferring the operation of the DLP-system from the «Copy» mode to the «Blocking» mode. It is important that the operation of the DLP-system does not hinder the staff members from performing regular operations and does not hinder business processes. Therefore, it is mandatory to adapt the standard DLP-system to the specifics of the company's activities. After that the transition of the adapted DLP-system to the «Blocking» mode is carried out.

Developed: the transition procedure of the adapted DLP-system from the «Copy» mode to the «Blocking» mode, the scheme of the event capture by the DLP-system for the two modes. The main channels of data leaks were investigated, the main leaks were identified by the data type and by the transmission channel. The analysis of the DLP-system operation in the «Blocking» mode is performed.

Keywords: information security; DLP-system; blocking of information leaks; an information security event; protection of confidential information; information detection.



Андріянова Т. А., аспірант Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта інфарматыкі і радыёэлектронікі. Окончила Беларусский 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, Беларусский 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: kafsiut@bsuir.by

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

УДК 534.4

Ю. А. ЗДОРОНОК

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЧЕВОЙ ИНТОНАЦИИ

Белорусский национальный технический университет

В данной статье предлагается новый подход к распознаванию высказываний на родном и иностранном языке на основе супraseгментарных явлений, которые составляют интонацию синтагмы. В каждом языке речь представляет собой разнообразное количество супraseгментных явлений, которые работая вместе, создают определенную окраску звучащей речи, интонационно выдавая при этом эмоциональную вовлеченность или отстраненность диктора. Любому языку, присущ разнообразный вариант интонационных контуров, которые впервые были определены как таковые Е. А. Брызгуновой, и используются в учебном пособии И. В. Одицовой при обучении русскому языку как иностранному. Согласно данным семи базовым интонационным конструкциям Е. А. Брызгуновой, Б. М. Лобановым были созданы универсальные мелодические портреты (УМП), на базе которых возможна нормализация выражения во времени в соответствии с положением его предъядерной, ядерной и заядерной части. С помощью интонации передается информация на лингвистическом и паралингвистическом уровне. От правильного интонирования зависит многое: восприятие, понимание и смысл. Мысль, облаченная в слова с правильной звуковой волной, рождает в сознании человека правильное представление о сути вещей. Таким образом, исключается так называемая интерференция при изучении иностранного языка. Сегодня существует большая потребность в новых и инновационных компьютерных программах, которые обеспечивают изучение иностранного языка с учетом просодической структуры целевого языка. Представленная работа описывает лингвистические и акустические ресурсы, которые лежат в основе обучения интонации с помощью компьютера, а также алгоритм, согласно которому возможно проектирование компьютерной системы для анализа и интерпретации речевой интонации.

Ключевые слова: компьютер, система, обучение языкам, лингвистические и акустические ресурсы.

Введение

Практически владеть иностранным языком означает сформировать навыки и развить умения мыслить на иностранном языке и понимать мысли других людей. Для того, чтобы сообщение было воспринято и понято слушателем, слова и словосочетания, предложения должны быть донесены в правильном интонационном оформлении. Это значит, что внутреннее или внешнее проявление речи должно быть произнесено с присущей ей динамической звуковой окраской в соответствии с правилами данного языка. С помощью интонации передается информация на лингвистическом и паралингвистическом уровне. От правильного интонирования зависит многое: восприятие, понимание и смысл [1].

Так или иначе, в обучении просодии иностранного языка необходима палитра интонационных контуров, чтобы передать все разноо-

бразие мыслей в речи. Поэтому интонацию следует изучать в контексте хорошо-структурированных диалогов или дискурса/речи.

Речь – это универсальное средство общения. Речь включает процессы порождения и восприятия (приема и анализа) сообщений для целей общения на всех языках мира, где ведущей является мысль или мыслительный образ, который реализуется в речи посредством акустических инструментов.

Предложение является совокупностью грамматически и фонетически оформленной реализацией человеческой мысли в речи. Как известно, предложение обладает определенными фонетическими характеристиками: мелодика речи, фразовое ударение, темп, ритм, паузация и тембр. Фраза – это самая крупная фонетическая единица с законченной интонацией. Минимальным элементом членения фразы является акцентная единица: совокупность слов

Zdaranok Y. A.

LINGUISTIC AND ACOUSTIC RESOURCES OF THE COMPUTER-BASED SYSTEM FOR ANALYSIS AND INTERPRETATION OF SPEECH INTONATION

Belarussian National Technical University

This article describes a novel approach to discriminating native and nonnative utterances based on suprasegmental features that constitute the intonation of the syntagma. In each language speech presents a diverse number of suprasegmental phenomena, which working together, create a certain coloring of spoken speech, intonationally giving out the emotional involvement or detachment of the speaker. To any language, there is a variety of intonational patterns, which were first identified as such by E. A. Bryzgunova, and are used for teaching Russian as a foreign language by I. V. Odintsova. According to the seven basic intonational patterns of E. A. Bryzgunova, BM Lobanov created the universal melodic portraits (UMP), which can be normalized in time in accordance with the position of its pre-nuclear, nuclear and bender parts. With the help of intonation, information is transmitted at the linguistic and paralinguistic level. A lot depends on correct intoning: perception, understanding and meaning. A thought covered in words with the right acoustic pronunciation gives a correct impression of things in human mind. Thus, the so-called interference while studying a foreign language is excluded. Linguistic and acoustic resources provide the basis for computer-aided intonation training in and outside the classroom. There is a great need for new and innovative computer-aided programs. But there is no necessary software available for such teaching system and, therefore, such system appears to be of great relevance. Presented work describes as well the algorithm of designing of the computer-based system for analysis and interpretation of speech intonation.

Keywords: *suprasegmental Parameters, Intonation, Pronunciation, Linguistic and Acoustic Resources, Computer Pronunciation Training.*



Здоронок Юлия Александровна, аспирант кафедры прикладной лингвистики Белорусского государственного университета (специальность 10.02.21 – Прикладная и математическая лингвистика). Окончила Минский государственный лингвистический университет (2012), магистратуру МГЛУ (2013). С 2014 года являюсь преподавателем кафедры «Межкультурная профессиональная коммуникация», ФММП, БНТУ. Научные интересы: прикладная лингвистика, программирование.

Zdaranok Y. A., postgraduate student of Belarussian State University, department of Applied linguistics (specialization 10.02.21 – Applied and mathematical linguistics). Graduated from Minsk State Linguistic University (2012), Master of Education (2013). Since 2014 faculty member of the Department of Intercultural professional communication of FMMP, BNTU. Scientific interests: Applied linguistics, software engineering. E-mail: yuliyazdaranok@gmail.com.

Работа выполнена в рамках диссертационного исследования на соискание степени кандидата наук по специальности «Прикладная и математическая лингвистика».

УДК 681.5

В. А. ВИШНЯКОВ¹, А. П. КОВАЛЕВ²

ОНЛАЙН-СЕРВИСЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ

¹Минский инновационный университет, ²Белорусский государственный университет

Целью данной работы является анализ методов, подходов, технологий, средств дистанционного обучения (ДО), использование как известных онлайн-сервисов так и представление новых. Обсуждена терминология в области ДО, даны различия между заочным и ДО. Проанализированы направления развития дистанционного обучения. Приведены технические и организационные составляющие ДО. Программы обучения в ДО реализуются посредством ПО, функции которых приведены. Рассмотрены характерные черты ДО, достоинства и недостатки. К достоинствам относятся самостоятельность, индивидуальность, независимость и т. д. Среди недостатков выделены: недостаточная индивидуально-психологическая и практическая составляющие, письменная форма обучения и т. д.

Рассмотрены технологии в организации ДО в том числе ИТ. Деятельность преподавателя в ДО разделена на два этапа: решение методических и организационных проблем и реализация дистанционных курсов. Обсуждены разновидности онлайн-сервисов в области дистанционного обучения, такие как чат и веб-занятия, теле и видеоконференции, мультимедиа, телеприсутствие, роботообучение, веб-сервисы. Рассмотрены такие ИТ в ДО как CD-технология, сетевые и телевизионно-спутниковые и облачные технологии.

Для развития ДО предложены модели интеграционных решений: RPC и EAI, объединяющее приложения на основе технологии удаленного вызова процедур (RPC) и интеграционного сервера (EAI); веб-сервисы и ESB, объединяющее веб-сервисы (WS) на основе топологии точка-точка и шины корпоративных сервисов. Дан состав онлайн-сервисов для ДО с использованием интеллектуальных технологий и облачных вычислений. Новым представлен метод интеграции в ДО на базе семантических веб-сервисов (SWWS), с поддержкой представления знаний на базе онтологий и обработки знаний с помощью агентов.

Ключевые слова: электронное, дистанционное обучение, технологии и сервисы ДО, интеллектуальные технологии, облачные вычисления.

Введение

Для развития ИТ-общества характерно создание систем, основанных на знаниях, в которых происходит не только рост объема информации, но приобретение и вывод новых знаний с использованием естественного и искусственного интеллекта. Согласно экспертным данным объем информации, получаемой в мире, удваивается каждые пять лет [1]. Это изменяет суть технологии образования, оно становится динамичным и непрерывным. Непрерывность образования должна организовываться по принципу «образование через всю жизнь» (life-long learning). Дистанционное обучение (Distance Learning) является одним из составляющих инновационных процессов в образовательной деятельности. В развитых странах термин Distance Learning заменяется терминами e-learning, e-tutoring [2].

Технические и организационные составляющие ДО

Дистанционное обучение (ДО) – это процесс интерактивного, общения преподавателя и обучаемого между собой и с удаленными ресурсами. Термин «электронное обучение» используется как синоним «дистанционное обучение». В отличие от электронного обучения, понятие ДО трактуется более широко как интегрированная форма обучения, базирующаяся на использовании как устоявшихся педагогических, так и информационных технологий (ИТ). Из литературы понятия электронное обучение и дистанционное обучение связаны, однако электронное обучение может быть использовано в дистанционном, а дистанционное обучение может использовать и не использовать элементы электронного обучения [3].

ДО – «это форма обучения, базирующаяся на использовании ИТ, которые применяются для обмена учебного материала, его изучения, интерактивного обмена между преподавателем и обучающимся, процесс обучения не зависит их расположения в пространстве и взаимодействия по времени, от конкретного учреждения образования [2]. В ДО используют различные технологии, такие как кейс-, ТВ, сетевые, интернет и т. д. [3].

В отечественных учреждениях ДО представлено в виде ИТ-среды как одна из разновидностей обучения, что закреплено законодательной базой. Так в ст. 17 Кодекса Республики Беларусь об образовании от 13.01.2011 № 243-З говорится, что «дистанционная форма получения образования – вид заочной формы получения образования, когда получение образования осуществляется преимущественно с использованием современных коммуникационных и информационных технологий».

Характерные черты дистанционного обучения. Характеристиками ДО являются модульность, роль преподавателя, функции разработчиков курсов, разделение участников учебного процесса расстоянием, самоконтроль обучаемого, использование ИТ и педагогических технологий. К основным направлениям применения ДО относятся [2, 3]:

- подготовка школьников для поступления в различные учебные заведения;
- обучение учащихся, студентов, магистрантов;
- дополнительное образование граждан (и пенсионеров) по интересам;
- повышение квалификации педагогических кадров по новым специальностям;
- профессиональная подготовка и переподготовка кадров;

При сравнении ДО с очной и заочной формами обучения вытекает, что ДО можно считать подвидом заочного обучения, для которого применяются ИТ с компьютерами, мобильными аппаратами, видео- и аудиотехникой, беспроводной и оптоволоконной связи. Отличием ДО

от заочной формы обучения заключается в том, что в основном процесс происходит самостоятельно (лекции и семинары в режиме онлайн), реже в общении с преподавателем (консультации по Интернету). Реализуется возможность обсуждения с тьютором вопросов через средства телекоммуникаций; передача материалов обучаемым в виде цифровых материалов. Это позволяет отказаться от установочных сессий с приездом в Вуз, либо очень их сократить.

Отличием ДО от очной формы обучения состоит в том, что большая часть материала усваивается не в аудиториях, а с использованием Интернета. В ДО обучение стало самостоятельным, происходит по месту жительства, занятости или в движении, включает гибкий график учебного процесса; контакты с преподавателем через инфокоммуникации.

Отличием ДО является возможность учащихся самим выбирать и получать желаемые знания, пользуясь различными информационными ресурсами (базы данных и знаний, мультимедиа, обучающие и контролирующие системы, видео- и аудиозаписи, электронные библиотеки, учебные пособия). Психолого-педагогические проблемы [4]:

- установление контактов между участниками;
- формирование групп при обучении в сотрудничестве;
- определение индивидуальных особенностей у слушателей;
- поддержание мотивации обучения;
- адаптация преподавателя к выбранной методике и технологии обучения.

Программы обучения реализуются посредством ПО, функции которых включают:

- формирование индивидуальных учебных планов и расписаний;
- ведение учета видов занятий и их результатов, выставлению оценок;
- контроль успеваемости, осуществление перевода на следующий семестр.

Преимущества и недостатки ДО представлены в таблице.

Преимущества и недостатки дистанционного обучения

Преимущества	Недостатки
Обучение происходит в индивидуальном стиле, в зависимости от того, как быстро ученик усваивает материал, какие у него возможности и желания.	Обучение лишено индивидуально-психологических деталей. Для успешного получения образования студенту необходимо быть самостоятельным и осознавать ответственность обучения.

Окончание таблицы

Преимущества	Недостатки
Учиться может любой человек, вне зависимости от физического состояния и места нахождения.	Практическая составляющая занятий, закрепляющая теоретические знания не всегда хорошо проработана.
Имеется возможность выбирать интересующие курсы и уделять занятиям столько времени, сколько получается.	Электронные курсы и обучающие программы не всегда соответствуют международным стандартам и работают не на 100% корректно.
В процессе обучения применяются новинки телекоммуникационных и информационных технологий.	Над обучающимися отсутствует постоянный контроль, некоторым из них не удастся самостоятельно преодолеть инерцию и лень.
Скорость обратной связи, возможность быстро связаться с преподавателем.	Обучение происходит в основном в письменной форме. У некоторых студентов отсутствие возможности излагать усвоенный материал устно может вызвать проблемы с закреплением знаний.
Получить образование дистанционно может любой человек, без зависимости от его места жительства, состояния здоровья.	Между преподавателями и учащимися отсутствует элемент живого общения, которое придает знаниям эмоциональную окраску, что не слишком хорошо сказывается на усвоении материала.

Технологии в организации дистанционного обучения

ДО строится по аналогии с планами и содержанием очного обучения, но объем, форма подачи учебного материала, виды взаимодействия участников меняются. Учебный процесс в ДО реализуется при поддержке Интернет-технологий, ИТ-сервисов и онтологий [5–7]. Под последними понимается описание на некотором формальном языке понятий отдельной предметной области и отношений между ними.

Деятельность преподавателя в системе ДО можно разделить на 2 этапа: организация учебной деятельности обучающихся в дистанционной форме (преподаватель решает ряд методических и организационных вопросов); подготовка содержания и реализация дистанционного курса (решение технических вопросов, разработка и программы обучения, наполнение теоретического материала, подбор задач для получения практического опыта, реализация процесса обучения).

Обучаемый после изучения теории выполняет практические и лабораторные работы, приобретая практические навыки. Теоретические знания усваиваются легче, а формирование практического опыта реализуется в процессе решения задач и разбора деловых ситуаций, с использованием различных онлайн-сервисов и ИТ [5, 6].

Разновидности онлайн-сервисов в ДО

Рассмотрим устоявшиеся и новые сервисы.

Чат-занятия – осуществляются с использованием диалога (чат-технологии). Они проводятся синхронно, все обучаемые имеют одновре-

менный доступ к сервису (чату). В некоторых дистанционных учебных заведений действует чат-классы, в которых через чат-общение организуется диалог преподавателей и обучаемых.

Веб-занятия – дистанционные уроки, семинары, деловые игры, лабораторные работы, практикумы, проводимых с помощью средств инфокоммуникаций и средств Интернета. Для этого используются веб-форумы – общение участников по выбранной теме или разделу посредством письменного общения через сайт с установленной специализированном ПО [6]. Существуют формы дистанционного обучения, при котором учебные материалы высылаются электронной почтой. От чат-занятий они отличаются более длительным процессом диалога и асинхронным характером взаимодействия преподавателей и обучаемых.

Телеконференция – проводится, на основе специальной техники, являются формой групповой работы, позволяя организовать обсуждение и обмен информацией обучаемых между собой и с преподавателями. Различают заочные телеконференции (оффлайн) и очные (онлайн), позволяющие проводить обсуждение в реальном режиме времени.

Видеоконференции – предоставляют возможность организации сеансов видеосвязи, одной из которых является телеприсутствие на двух или более площадках. Связь организуется в форме видео и аудио общения между группами обучаемых, которые находятся в разных городах и даже странах. Осуществляется заслушивание докладов, обсуждение задач, обмен мнениями и т. д.

Роботообучение – дистанционное обучение с помощью роботов. ДО с помощью робо-

та R. Bot 100 реализовано в Москве, в одной из школ, идёт эксперимент по такому виду обучения [4].

Мультимедиа – объединяют ИТ, сочетающие различные средства отображения информации: текст, звук, рисунки, схемы, фотографии, видео, анимацию, 3D-изображение. Популярными мультимедийными средствами являются анимация и видео.

Веб-сервисы – это программное обеспечение, предоставляющее доступ к данным и программам в распределенной среде. Значительно облегчает решение сложных задач для пользователей за счет автоматического объединения материалов по их описанию [7]. Для развития ДО эти онлайн-сервисы позволяют автоматически объединять различные фрагменты обучающих курсов, особенно в области обучения ИТ-специальностям: программирование (ПОИТ), информатика, обработка информации (АСОИ, ИСиТ), вычислительные машины, системы и сети.

Перспективной технологией совершенствования ДО является разработка семантических веб-сервисов с поддержкой представления и обработки на базе онтологий, что позволяет автоматизировать поиск обучающих программ интеллектуальными агентами с последующим автоматическим объединением различных учебных курсов и даже новых специальностей [7].

Интеграция в ДО. Одной из проблем построения эффективного ДО является интеллектуализация, суть которой заключается в разработке эффективных механизмов управления и обучения. Достичь этого можно путем интеграции многочисленных процессов обучения с использованием Интернет-приложений [7]. В работе [8] исследованы модели интеграционных решений: RPC и EAI, объединяющее приложения на основе технологии удаленного вызова процедур (RPC) и интеграционного сервера (EAI); веб-сервисы и ESB, объединяющее веб-сервисы (WS) на основе топологии точка-точка и шины корпоративных сервисов, которые в той или иной форме пригодны для развития ПО в ДО. Перспективным направлением для ДО является использование семантических веб-сервисов (SWWS), с поддержкой представления и обработки на базе онтологий, что позволяет автоматизировать поиск обучающих программ интеллектуальными агентами с последующим их автоматическим объединением.

ИТ в организации дистанционного обучения

Стратегии развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы предусматривает использование новых технологий [9]. Выделим технологии, используемые в дистанционном обучении:

CD-технология (кейс-технология) учебные материалы предоставляют учащимся на мультимедийных (дискеты, CD-ROM, DVD) носителях. Она применяется в сочетании с очными формами занятий. Часть общения с преподавателем (например, консультации), а также получение информации из электронных библиотек и серверов вузов могут осуществляться через Интернет.

Сетевая технология – использование обучающих программ и электронных учебников, которые размещаются на серверах Вуза. Через Интернет можно связаться с преподавателем, пройти промежуточные и итоговые тесты. Экзамены и зачеты проводятся также дистанционно. Сетевое обучение может быть организовано как автономно, так и на основе Интернета.

Телевизионно-спутниковая технология организационно схожа с сетевой, однако контакт преподавателей и студентов осуществляется по спутниковым каналам связи. Помимо этих трех указанных технологий в настоящее время все чаще используется гибридная модель, сочетающая очные и дистанционные периоды (сессии) обучения.

Облачные технологии. «Облачная обработка данных» – это парадигма, в рамках которой информация постоянно хранится на тысячах серверов дата-центрах и кэшируется на клиентской стороне, например, на персональных компьютерах, ноутбуках, смартфонах и т. д. [10]. Для развития ДО это аренда вычислительных ресурсов, хранение больших объемов обучающей информации и в перспективе – создание интеллектуальных виртуальных обучающих центров.

Заключение

В работе представлен анализ методов, подходов, технологий, средств дистанционного обучения, использование как известных онлайн-сервисов так и представление новых. Среди онлайн-сервисов ДО выделены: чат и вебинария, теле и видеоконференции, мультимедиа.

диа, телеприсутствие, роботообучение, веб-сервисы, интеграция. Для организации ДО используются CD-технология, сетевые и телевизионно-спутниковые технологии. Для развития ДО перспективными являются облачные вычисления. В качестве развития ПО в ДО рассмотрены веб-сервисы, которые позволяют автоматически объединять различные фрагменты обучающих курсов, особенно в области обуче-

ния ИТ-специальностям. Перспективной технологией совершенствования ДО является разработка семантических веб-сервисов с поддержкой представления и обработки знаний на базе онтологий, что позволяет автоматизировать поиск обучающих программ интеллектуальными агентами с последующим автоматическим объединением различных учебных курсов и даже новых специальностей.

Литература

1. **Юсупова, А. В.** Современные технологии обучения и контроля знаний: Учебное пособие / А. В. Юсупова, Г. В. Завада, А. Г. Фролов. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. – 88 с.
2. **Морозов, И. О.** Организационно-экономический механизм повышения эффективности электронного обучения: автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://economy-lib.com/organizatsionno-ekonomicheskij-mehanizm-povysheniya-effektivnosti-elektronnogo-obucheniya#1>. – Дата доступа: 18.05.2017.
3. **Обзор** мирового и российского рынка электронного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ra-kurs.spb.ru/2/0/3/1/?id=42>. – Дата доступа: 18.04.2017.
4. **Теория** и практика дистанционного обучения: уч. пос. для студ. высш. пед. учеб. заведений / Е. С. Полат, М. Ю. Бухаркина, М. В. Моисеева. Под ред. Е. С. Полат. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.
5. **Афзалова, А. Н.** Использование мобильных технологий для организации самостоятельной работы студентов // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)» – 2012. – V.15. – № 4. – С. 497–505.
6. **Голицына, И. Н.** Использование облачных вычислений в образовательном процессе // Образовательные технологии и общество. Выпуск № 2 / том 17/2014. – С. 39–46.
7. **Вишняков, В. А.** Информационный менеджмент: учеб. пособие с грифом МО РБ / В. А. Вишняков. – Минск: ВГКС, 2015. – 304 с.
8. **Бородаенко, Ю. В.** Направления интеллектуализации в современном маркетинге. / Ю. В. Бородаенко, В. А. Вишняков / Актуальные проблемы науки XXI века. Мн.: МИУ выпуск 2, 2013. – С. 91–96.
9. **Стратегии** развития информатизации в Республике Беларусь на 2016–2022 годы Постановление коллегии Министерства связи и информатизации Республики Беларусь 30.09.2015 № 35.
10. **Фингар, П.** Облачные вычисления – бизнес-платформа XXI века. Пер. с англ. Захаров А. В. / П. Фингар / – М.: Акваринария Книга, 2011. – 256 с.

References

1. **Jusupova, A. V.** Modern technologies of knowledge study and control: manual / A. V. Jusupova, G. V. Savada, A. G. Frolov. – Kasan: Kasan state energetic univ., 2010. – 88 p.
2. **Morosov, I. O.** Organize-economic mechanism improving of electronic learning efficiently: PhD thesis in economic: [Electronic resource]. – Mode of access : <http://economy-lib.com/organizatsionno-ekonomicheskij-mehanizm-povysheniya-effektivnosti-elektronnogo-obucheniya#1>. – Date of access: 18.05.2017.
3. **Review** of would and Russian market of electronic support [Electronic resource]. – Mode of access : <https://ra-kurs.spb.ru/2/0/3/1/?id=42>. – Date of access: 18.04.2017.
4. **Theory** and practice of distance leaning: manual for studens of high pedagogical universities / E. S. Polat, M. Yu. Bucharikina, M. V. Moiseeva. Pod red. E. S. Polat. – M.: Isdatejlskiji zentr «Akademija», 2004. – 416 p.
5. **Afsalova, A. N.** Using mobile technologies for organization of student independent study work // Intern. electronic magazine «Educational Technology & Society» – 2012. – V.15. – № 4. – Pp. 497–505.
6. **Golizina, I. N.** Using cloud technologies for learning process // Education technologies and society. N 2 / том 17 / 2014. – Pp. 39–46.
7. **Vishniakou, U. A.** Information management: manual with stamp of education ministry of Belarus / U. A. Vishniakou / Minsk: High state college of telecommunications, 2015. – 304 p.
8. **Borodaenko Ju. U.** Intellectual directions in modern marceting / Ju. U. Borodaenko, U. A. Vishniakou / Actual science directions of XXI century. – Minsk, MIU, N 2, 2013. – P. 91–96.
9. **Strategies** of information development for Belarus in 2016–2022 years. Resolution of Ministry board of communication and informatisation of Belarus 30.09.2015 N 35.
10. **Finger, P.** Cloud compuring. – business-platform of XXI century. Transl. from English Zacharov A. V. / P. Finger / – M.: Akvamarinovaja Kniga, 2011. – 256 p.

Поступила
28.10.2017

После доработки
10.11.2017

Принята к печати
15.12.2017

U. A. Vishniakou¹, A. P. Kovalev²

ONLINE-SERVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES IN DISTANCE LEARNING

¹Minsk Innovation University, ²Belarus State University

The article deals with the analysis of distance learning (DL) methods, approaches, technologies, tools, the use as known online services so and developing the new ones. The terminology in area of DL is discussed and differences between correspondence course and DL are done. The development tendencies of distance learning are analyzed. Their technical and organization components are done. The course programs for DL are realizing by software which functions are shown. The typical lines of DL, their advances and lacks are conceded. As DL advances are self activity, individuality, independence and so on. As DL lacks are insufficiently individual, psychological, practical aspects, writing forms of DL and so on.

Technologies and organization of DL including IT are discussed. The tutor activity is divided on two stages: decision of methodological, organizational problems and realization of distance courses. The various kind of online services in DL such as chats, web, TV, video conferences multimedia, robot learning, web-services are shown. Such IT for DL as CD, net, TV, satellite, cloud are discussed.

The models of integration decisions for DL development such as Remote Procedure Calls (RPS), Enterprise Application Integration (EAI), Web-Services (WS), Enterprise Service Bus (ESB) are proposed. The content of e-learning online services including intellectual technologies and cloud computing are done. As new one integration method for DL is Semantic Web and Web-service (SWWS) with knowledge representation support on ontology base and knowledge processing on agents support are representation.

Keywords: *electronic, distance leaning, technologies and online services of e-leaning, intellectual technologies, cloud computing*



Вишняков Владимир Анатольевич – д. т. н., профессор МИУ (по совместительству профессор БГУИР, каф. ЗИ). Область научных интересов: информационное управление и безопасность, электронный бизнес, интеллектуальные системы управления. Член 2-х докторских Советов по защите диссертаций. Автор более 390 научных работ, в том числе 6 монографий (1 на английском языке), 4-х учебных пособий с грифом Министерства образования, 8-и томного учебного комплекса «Информационный менеджмент». E-mail: vish2002@list.ru.

Vishniakou Uladzimir – doctor of science, Professor of IT department of Minsk Innovation University (Invited Professor of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, department of information defence). Research interest: information management and security, electronic business, intellectual management systems. Mingled of two doctoral counsels of thesis's defence. Author more 390 scientific publications including 6 monographs (1 – English), 4 study books with stamp of education Ministry, 8 volumes manual «Information management». E-mail: vish2002@list.ru.



Ковалев Александр Петрович закончил магистратуру МИУ, аспирантуру БГУИР, магистр экономики, ст. преподаватель кафедры менеджмента БГУ. Область научных интересов: информационное управление и электронный маркетинг. Автор 37 научных работ, включая монографию. E-mail: 911by@mail.ru.

Kovalev Aleksandr – finished master education in Minsk Innovation University, PhD education in Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, masters degree in economy. Now works as assistant docent of management department of Belarusian State University. Research interest: information management and electronic marketing. Author 37 scientific publications, Including 1 monograph. E-mail: 911by@mail.ru.

УДК 004.42

Ю. Б. ПОПОВА, С. В. ЯЦЫНОВИЧ

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Белорусский национальный технический университет

Искусственные нейронные сети (ИНС) в настоящее время находят широкое применение в задачах управления и прогнозирования. Целью данной работы является реализация искусственной нейронной сети для управления виртуальными объектами в компьютерной игре в футбол. Для достижения указанной цели необходимо решить круг задач, связанных с математическим моделированием ИНС, алгоритмизацией и программной реализацией. В работе рассматриваются вопросы математического моделирования искусственной нейронной сети методом обратного распространения ошибки, приведены алгоритмы для расчета нейронов и для обучения ИНС. Программная реализация искусственной нейронной сети была выполнена на языке JavaScript с использованием библиотеки Node.js, которая взяла на себя роль сервера для управления процессом игры. Также использовались некоторые функции библиотеки Underscore.js для работы с массивами данных. Обучающая выборка состояла из более чем 1000 наборов входов и выходов, максимально отражая все возможные ситуации. Описаны результаты программной реализации искусственной нейронной сети на примере управления виртуальными футболистами для компьютерной игры. Результаты работы показывают, что ИНС с достаточно большой скоростью в режиме реального времени выдает необходимое направление для движения игрока. Использование искусственной нейронной сети позволило снизить использование процессорного времени, что является крайне важным в задачах, где требуется быстрое принятие решений, ведь сложные вычисления и алгоритмы предсказания не всегда могут вложиться в 20 мс, что чревато пропусками ходов и проигрышами. Смоделированная искусственная нейронная сеть и реализованный алгоритм ее обучения могут применяться для решения других задач, для чего необходимы только новые данные окружающего мира.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, ИНС, нейрон, вес нейрона, обучение искусственной нейронной сети, метод обратного распространения ошибки.

Введение

В настоящее время наблюдается взрыв интереса к искусственным нейронным сетям (ИНС), которые вошли в практику везде, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации или управления. Оригинальная идея ИНС пришла в технику после исследования центральной нервной системы человека и нейронов. В модели нейронной сети простые узлы (их называют нейроны либо нейроды (neurodes), либо обрабатывающие элементы (ОЭ), либо юниты) связаны друг с другом и образуют сеть узлов [1–3]. Одно из подобий ИНС биологическим нейронным сетям заключается в том, что функции выполняются юнитами все вместе, параллельно.

Для того, чтобы создать действительно работающую искусственную нейронную сеть, необходимо потратить немало времени и пройти

все этапы разработки от формирования условий работы сети до обучения смоделированных и связанных нейронов [4]. В рамках данной работы рассмотрим моделирование и обучение искусственной нейронной сети на примере управления виртуальными объектами для компьютерной игры в футбол.

Постановка задачи. Необходимо разработать и обучить искусственную нейронную сеть для управления командой из трех футболистов в компьютерной игре в футбол. Управляемые ИНС футболисты изображены красным цветом, их соперники – синим. Размер игрового поля составляет 1200*600 пикселей. Стартовая позиция игроков представлена на рис. 1. Для упрощения правил игры принимается, что футбольные ворота занимают всю левую или правую сторону (отмечены красной и синей линией на рис. 1). Игроки равнозначны по функцио-

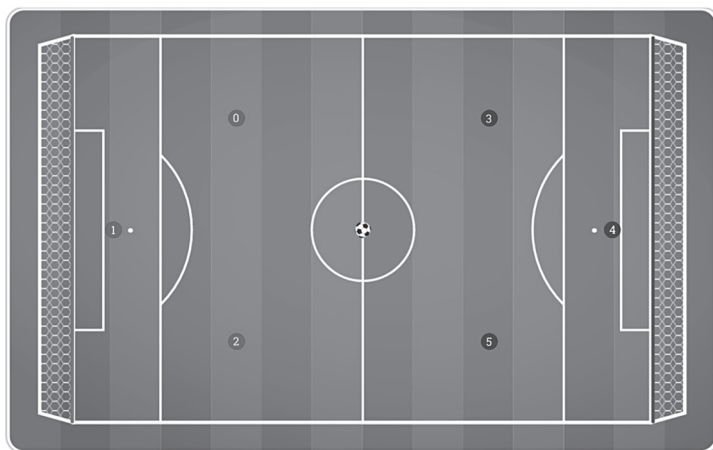


Рис. 1. Стартовая позиция игроков

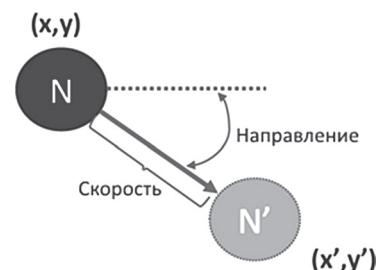


Рис. 2. Изменение положения игрока

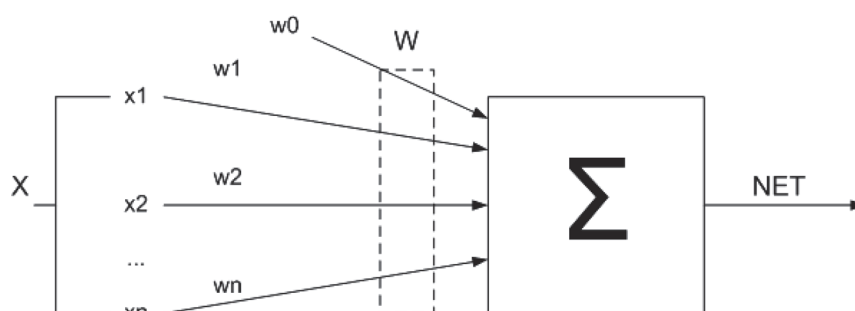


Рис. 3. Искусственный нейрон [5]

нальным обязанностям и не разделяются априори на вратарей, нападающих и защитников, но должны выполнять эти роли в зависимости от ситуации. Игра длится 2 мин и делится на две половины. После первой половины игры команды меняются воротами.

Игровое время делится на тики по 20 мс. В течение каждого тика только один игрок команды может изменять свою скорость и направление. Перемещение игрока представлено на рис. 2, где (x, y) – первоначальное положение игрока, (x', y') – положение игрока после перемещения.

Искусственная нейронная сеть должна уметь выполнять следующие действия:

- изменять скорость движения управляемого игрока в зависимости от местоположения мяча и членов команды;
- изменять направление движения управляемого игрока в зависимости от местоположения мяча и членов команды;
- если футболист находится за мячом относительно своих ворот, он должен изменить свое направления и двигаться по дуге, максимально близко огибая мяч, но так, чтобы не забить гол в свои ворота;

– если члены команды находятся ближе к мячу, то управляемый игрок должен по возможности выдвинуться ближе к воротам для получения паса или перехвата;

– если игрок находится ближе, чем остальные игроки команды, к своим воротам и максимально удаленно от мяча, он осуществляет роль вратаря. При приближении мяча к игроку, он должен выбить мяч или пойти за ним.

Теоретические основы искусственной нейронной сети. Искусственный нейрон имитирует в первом приближении свойства биологического нейрона [5]. На вход искусственного нейрона поступает некоторое множество сигналов $x_1, x_2, \dots, x_n$, каждый из которых является выходом другого нейрона. Каждый вход умножается на соответствующий вес $w_1, w_2, \dots, w_n$, аналогичный синаптической силе, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона. На рис. 3 представлена модель, которая реализует эту идею.

Суммирующий блок алгебраически объединяет взвешенные входы, создавая выход NET:

$$NET = \sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0, \quad (1)$$

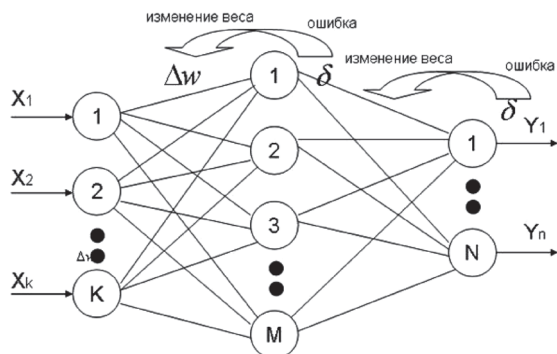


Рис. 4. Графическое представление метода обратного распространения ошибки

где w_i – вес i -го нейрона; x_i – выход i -го нейрона; n – количество нейронов, которые входят в обрабатываемый нейрон; w_0 – биас или нейрон смещения.

Сигнал w_0 позволяет сдвинуть начало отсчета функции активации, которая в дальнейшем приводит к увеличению скорости обучения. Полученный сигнал NET , как правило, обрабатывается функцией активации и дает выходной нейронный сигнал OUT . В качестве этой функции часто используется сигмоидальная функция:

$$OUT = \frac{1}{1 + e^{-NET}}. \quad (2)$$

В [5] указано, что сети, построенные из таких искусственных нейронов, обнаруживают свойства, сильно напоминающие биологическую систему. Там же приведены модели однослойных, многослойных ИНС, сетей с обратными связями и основы их обучения.

Метод обратного распространения ошибки. Обучение искусственной нейронной сети – это процесс, в котором параметры сети настраиваются посредством моделирования среды, в которую она встроена. Существует достаточно большое количество методов обучения искусственных нейронных сетей, однако для многослойных ИНС наиболее популярным является метод обратного распространения ошибки, включающий в себя три фазы [6]:

- проведение через сеть обучающего примера (фаза прямого распространения);
- вычисление значения ошибки между полученным выходом сети и ожидаемым, на основе которого затем вычисляются значения ошибок для каждого предыдущего слоя вплоть до входного (фаза обратного распространения ошибки);

– единовременная корректировка всех весов, основываясь на их текущем значении, значении ошибки, соответствующей рассматриваемому нейрону и активационному значению нейрона.

Графическое представление метода обратного распространения ошибки приведено на рис. 4 [7] для K нейронов первого слоя, M нейронов скрытого слоя и N нейронов выходного слоя.

Реализация искусственной нейронной сети. Основные вычисления и работа искусственной нейронной сети происходят в алгоритме прохода по всей системе и расчете выходных параметров. Обобщенная схема алгоритма расчета нейрона представлена на рис. 5.

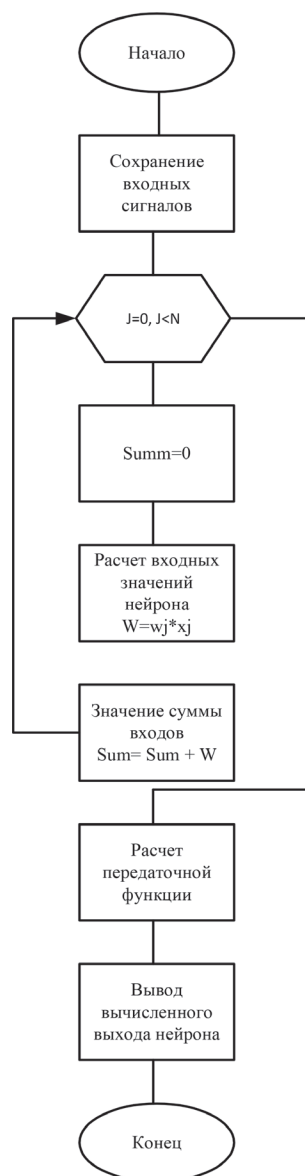


Рис. 5. Схема алгоритма расчета нейрона

Вначале алгоритм проходит по входным нейронам и вычисляет выходные значения для каждого из них. Далее алгоритм циклически переходит на вычисление выходов для скрытого слоя на основе весов и ранее вычисленных выходов первого слоя. При вычислении выходов нейронов используется сигмоидальная функция активации. После работы алгоритма на выходе последнего слоя получается результат работы искусственной нейронной сети.

Для того, чтобы ИНС корректно работала, необходимо ее обучить, т. е. определить все веса. Для обучения сети был разработан алгоритм, реализующий описанный выше метод обратного распространения ошибки (рис. 6).

Перед началом обучения веса у сети представляются случайным способом. На вход функция обучения принимает уже определенные наборы данных (входы-выходы), которые заведомо верные. На первоначальном этапе идет настройка системы, выставление количества итераций обучения и значения ошибки, которые являются очень важными показателями в обучении. Если превысить или уменьшить эти показатели, можно переобучить или недоучить систему. Поэтому обычно обучение проводится несколько раз с корректировкой этих параметров. На следующем этапе обучения происходит проход по сети на основе входных данных для обучения. Результатом прохода являются выходные данные для корректировки весов. Затем происходит проход по ИНС в обратном направлении с вычислением значения ошибки, на основе которой в дальнейшем будет происходить корректировка весов. Алгоритм работает до тех пор, пока не будет достигнут приемлемый уровень ошибки (критерий 1 на рис. 6) либо не закончены все итерации (критерий 2 на рис. 6).

В результате обучения искусственная нейронная сеть получает определенный набор весов, которые, если соответствуют ожиданиям, не изменяются, либо происходит корректировка значений допустимой ошибки или итераций обучения, и алгоритм запускается заново.

Программная реализация искусственной нейронной сети была выполнена на языке JavaScript с использованием библиотеки Node.js, которая взяла на себя роль сервера для управления процессом игры. Также использовались некоторые функции библиотеки Underscore.js

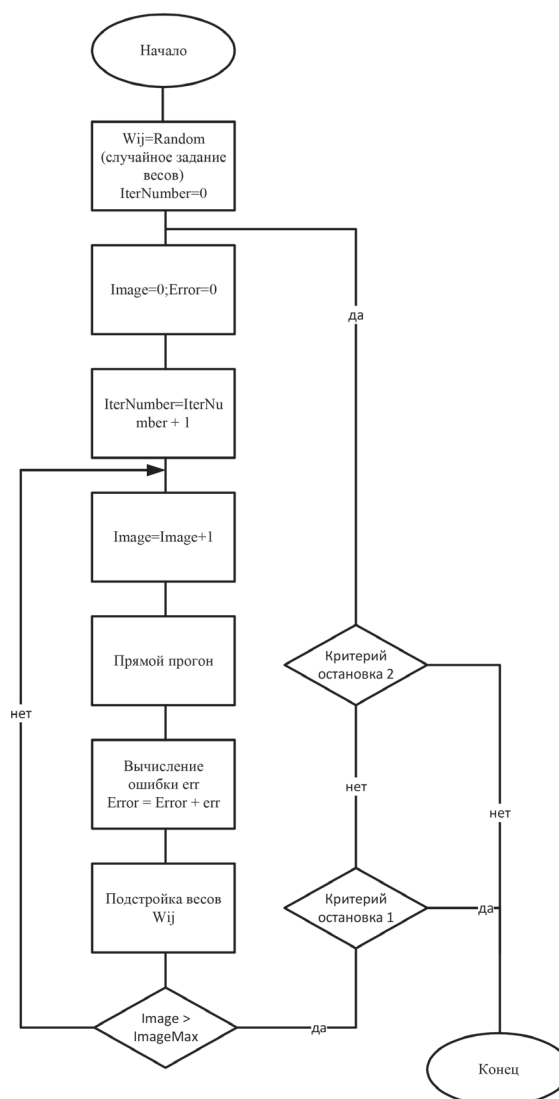


Рис. 6. Алгоритм обучения нейронной сети

для работы с массивами данных. Обучающая выборка состояла из более чем 1000 наборов входов и выходов, максимально отражая все возможные ситуации, предусмотренные правилами, приведенными в постановке задачи.

Анализ полученных результатов. В результате работы была реализована искусственная нейронная сеть для управления виртуальными объектами в компьютерной игре в футбол с двумя командами. Произведено обучение ИНС по описанному выше алгоритму. Обучение искусственной нейронной сети производилось несколько раз с изменениями как входного количества нейронов, так и с изменением количества итераций и значений ошибки обучения. Первоначальный вариант ИНС представлял собой сеть с 13 входами и 6 нейронами скрытого слоя. Однако из-за переизбытка ин-

формации входных данных обучить такую сеть не оказалось возможным. В итоге разработанная искусственная нейронная сеть получила 6 входов (направление к мячу, расстояние до мяча, расстояние и направление до первого и второго игроков команды), 3 нейрона на скрытом слое и 2 выхода (новые координаты, куда необходимо переместить игрока). После нескольких этапов обучения было получено оптимальное сочетание весов сети, что позволило прекратить обучение и интегрировать искусственную нейронную сеть в компьютерную игру.

Результаты работы компьютерной игры показывают, что ИНС с достаточно большой скоростью в режиме реального времени выдает необходимое направление для движения игрока, что сказывается на итогах игр. Так было запущено 3 игры, в которых:

1. Нейронная сеть играла со стандартным ботом, который просто бежал на мяч. Нейронная сеть одержала победу с большим отрывом.

2. Нейронная сеть играла против алгоритма предсказания и смогла победить. Однако здесь следует отметить, что такая победа в большей степени связана с неумением противника, чем с преимуществом разработанной ИНС.

3. На поле было две команды под управлением искусственных нейронных сетей. Поскольку обучение ИНС не учитывало расположение противника, то обе команды показали себя одинаково, ориентируясь только на игроков своей команды и на мяч.

В процессе тестирования разработанной искусственной нейронной сети было запущено

но 20 игр с соперником на основе следования на мяч. Результаты показали, что в 80% случаев ИНС принимала правильное решение согласно правил, описанных выше. В 60% случаев искусственная нейронная сеть не выдавала оптимальные траектории движения для обхода мяча по окружности, если мяч оказывался за спинами игроков. Имеется предположение, что такой результат связан с небольшим количеством обучающих данных на основе описанной ситуации. В 20% случаев ИНС забивала себе по причине того, что все игроки были ориентированы на мяч и иногда находились на уровне с ним либо за ним.

Заключение

Разработанная искусственная нейронная сеть позволила в полной мере справиться с поставленной задачей, а именно, позволила управлять действиями виртуальных футболистов в компьютерной игре без написания большого количества алгоритмов и описания действий при различных состояниях окружающего мира. Также использование ИНС позволило снизить использование процессорного времени, что является крайне важным в задачах, где требуется быстрое принятие решений, ведь сложные вычисления и алгоритмы предсказания не всегда могут вложиться в 20 мс, а это чревато пропусками ходов и проигрышами.

Следует также добавить, что смоделированная искусственная нейронная сеть и реализованный алгоритм ее обучения могут применяться при решении других задач, для чего необходимы лишь новые данные окружающего мира.

Литература

1. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – Изд. 2-е. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
2. Kriesel, D. A Brief Introduction to Neural Networks [Электронный ресурс] / D. Kriesel. – Режим доступа – http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks. – Дата доступа: 01.10.2017.
3. Жданов, А. А. Автономный искусственный интеллект [Электронный ресурс] / А. А. Жданов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 359 с.
4. Попова, Ю. Б. Нейронные сети в обучающих системах / Ю. Б. Попова, С. В. Яцынович // Информационные технологии в технических и социально-экономических системах: сб. материалов науч.-тех. конф. – Минск: РИВШ, 2016. – С. 9–11.
5. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика / Ф. Уоссермен. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
6. Попова, Ю. Б. Обучение искусственных нейронных сетей методом обратного распространения ошибки [Электронный ресурс] / Ю. Б. Попова, С. В. Яцынович. – Режим доступа: <http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/4860-2016-11-18-15-47-40.html>. – Дата доступа: 01.08.2017.
7. Парадигмы обучения нейронных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://apsheronk.bozo.ru/Neural/Lec3.htm> – Дата доступа: 10.05.2017.

References

1. **Hajkin, S.** Neironnye seti: polnyj kurs / S. Hajkin. – Izd. 2-e. – M.: Vil'jams, 2006. – 1104 s.
2. **Kriesel, D.** A Brief Introduction to Neural Networks [Elektronnyj resurs] / D. Kriesel. – Rezhim dostupa – http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks. – Data dostupa: 01.10.2017.
3. **Zhdanov, A. A.** Avtonomnyj iskusstvennyj intellekt [Elektronnyj resurs] / A. A. Zhdanov. – M.: BINOM. Laboratorija znaniy, 2012. – 359 s.
4. **Popova, Ju. B.** Neironnye seti v obuchajushhih sistemah / Ju. B. Popova, S. V. Jacynovich // Informacionnye tehnologii v tehniceskij i social'no-jekonomicheskij sistemah: sb. materialov nauch.-teh. konf. – Minsk: RIVSh, 2016. – S. 9–11.
5. **Uossermen, F.** Nejrokomputernaja tehnika: teorija i praktika / F. Uossermen. – M.: Mir, 1992. – 184 s.
6. **Popova, Ju. B.** Obuchenie iskusstvennyh neironnyh setej metodom obratnogo rasprostraneniya oshibki [Elektronnyj resurs] / Ju. B. Popova, S. V. Jacynovich. – Rezhim dostupa: <http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/4860-2016-11-18-15-47-40.html>. – Data dostupa: 01.08.2017.
7. **Paradigmy** obucheniya neironnyh setej [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://apsheron.sk.bozo.ru/Neural/Lec3.htm>. – Data dostupa: 10.05.2017.

Поступила
01.12.2017

После доработки
12.12.2017

Принята к печати
15.12.2017

Y. B. Popova, S. V. Yatsynovich

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR VIRTUAL OBJECTS CONTROL

Belarusian National Technical University

Artificial neural networks (ANN) are now widely used in control and forecasting problems. The purpose of this work is the implementation of an artificial neural network for virtual objects control in a computer game of football. To achieve this goal, it is necessary to solve a number of problems related to mathematical modeling of ANN, algorithmization and software implementation. The paper deals with the mathematical modeling of an artificial neural network by the method of back propagation of an error, the algorithms for calculating neurons and for teaching ANN are presented. The software implementation of the artificial neural network was performed in the JavaScript language using the Node.js library, which assumed the role of a server for managing the game process. Some functions of the Underscore.js library were used to work with data arrays. The training sample consisted of more than 1000 sets of inputs and outputs, reflecting all possible situations. The results of software implementation of an artificial neural network are described on the example of virtual players control for a computer game. The results of the work show that ANN with a sufficiently high speed in real time gives the necessary direction for the player's movement. The use of an artificial neural network has reduced the use of CPU time, which is extremely important in problems where rapid decision making is required, because complex calculations and prediction algorithms can not always be invested in 20 ms, which is fraught with skipping moves and losses. The simulated artificial neural network and the implemented algorithm of its learning can be used to solve other problems, for which only new data of the surrounding world are needed.

Keywords: artificial neural network, ANN, neuron, neuron weight, ANN training, method of back propagation of error.



Yuliya B. Popova, PhD, Associate Professor of the Software Department of the Belarusian National Technical University. Her research interests focus on methods and algorithms of optimization in technical systems, engineering of adaptive learning systems and learning management systems (LMS), modeling of student knowledge, software testing and quality assurance.

Email: julia_popova@mail.ru

Попова Юлия Борисовна, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ. Ее научные интересы связаны с методами и алгоритмами оптимизации технических систем, разработкой адаптивных обучающих систем, автоматизированных систем управления учебным процессом, моделированием знаний, а также с вопросами тестирования и качества программного обеспечения.



Siarhei Yatsynovich received the graduate degree in software engineering from the Belarusian National Technical University in 2014 and the Master's degree in system analysis and control of information processing in 2015. He is currently working on PhD degree program. His research interests are related to the methods of decision-making, neural networks, learning management systems and the development of web applications.

Email: hawkrai@yandex.ru

Яцынович Сергей Викторович закончил Белорусский национальный технический университет по специальности «Программное обеспечение информационных технологий» в 2014 году и магистратуру по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации» в 2015 году. В настоящее время является аспирантом кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем БНТУ. Его научные интересы связаны с методами принятия решений, нейронными сетями, системами управления обучением, а также с разработкой веб-приложений.

Работа выполнялась в рамках научно-исследовательской работы ГБ 11–254 «Математическое и программное обеспечение систем обработки информации в образовании и автоматизированных систем управления техническими объектами».

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.