

с е т е в о й   н а у ч н ы й   ж у р н а л   ISSN 2518-1092

# НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

R E S E A R C H   R E S U L T

Том 2 | № 4  
Volume 2 | 2017

ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION  
TECHNOLOGY

Сайт журнала:  
[rinformation.ru](http://rinformation.ru)

сетевой научный рецензируемый журнал  
online scholarly peer-reviewed journal



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)  
Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017



Том 2, № 4. 2017

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 2, № 4. 2017

ONLINESCHOLARLYPEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Жиликов Е.Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Черноморец А.А.**, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: **Ляшенко И.В.**, кандидат филологических наук, доцент

**ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:**

**Басов О.О.**, доктор технических наук (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург)

**Белов С.П.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Волчков В.П.**, доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

**Гахова Н.Н.**, кандидат технических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Дмитриенко В.Д.**, доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

**Иващук О.А.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Корсунов Н.И.**, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Коськин А.В.**, доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)

**Ломазов В.А.**, доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

**Ломакин В.В.**, кандидат технических наук, доцент (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Маторин С.И.**, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

**Рубанов В.Г.**, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

**EDITORIAL TEAM:**

EDITOR-IN-CHIEF: **Evgeniy G. Zhilyakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Senior Lecturer, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: **Igor V. Lyashenko**, Ph.D. in Philology, Associate Professor

**EDITORIAL BOARD:**

**Oleg O. Basov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Sergey P. Belov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Valery P. Volchkov**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Nina N. Gahova**, Candidate of Technical Sciences (Russia)

**Valery D. Dmitrienko**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

**Olga A. Ivaschuk**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Nikolay I. Korsunov**, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Alexander V. Koskin**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Vadim A. Lomazov**, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)

**Vladimir V. Lomakin**, Candidate of Technical Sciences, (Russia)

**Sergey I. Matorin**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Vasily G. Rubanov**, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.

Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education  
«Belgorod State National Research University»

Publisher: Belgorod State National Research University

Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

Publication frequency: 4/year

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

### COMPUTER SIMULATION HISTORY

<b>Федоров В.И., Иващук О.А., Ужаринский А.Ю.</b> Разработка модели оценки и прогнозирования состояния почв сельско-городских территорий на основе искусственной нейронной сети	<b>3</b>	<b>Fedorov V.I., Ivashchuk O.A., Uzharinskiy A.Ju.</b> Development of the model of estimation and forecasting of the state of soils of rural-urban territory on the basis of the artificial neural network	<b>3</b>
<b>СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ</b>		<b>SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE</b>	
<b>Ломакин В.В., Михайлова С.В., Маркова З.А.</b> Методика оценки компетентности исполнителей SAP-проектов	<b>10</b>	<b>Lomakin V.V., Mihajlova S.V., Markova Z.A.</b> Methodology for assessing the competence of SAP-project executives	<b>10</b>
<b>Чмирева Е.В.</b> Алгоритм выбора CRM-системы для совершенствования процесса взаимодействия с клиентами	<b>21</b>	<b>Chmireva E.V.</b> Algorithm for choice of CRM system to improve customer interaction	<b>21</b>
<b>Бондаренко Ю.А., Ломакин В.В., Бестужева О.В.</b> Выбор параметров восстановления цапфы мельницы на основе метода анализа иерархий	<b>30</b>	<b>Bondarenko Ju.A., Lomakin V.V., Bestuzheva O.V.</b> The choice of optimal parameters of the restoration of the axle of the mill based on the method of analysis of hierarchies	<b>30</b>
<b>Глазунова О.А., Сорокина Е.С., Чмирева Е.В.</b> Экспертная оценка приоритетности выбора поставщика на основе метода анализа иерархий	<b>39</b>	<b>Glazunova O.A., Sorokina E.S., Chmireva E.V.</b> Expert evaluation of the priority of the selection of the supplier based on the method of analysis of hierarchies	<b>39</b>
<b>ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		<b>INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION</b>	
<b>Чуйков Р.Ю., Юдин Д.А.</b> Обнаружение транспортных средств на изображениях загородных шоссе на основе метода Single shot multibox detector	<b>50</b>	<b>Chuykov R.Y., Yudin D.A.</b> Vehicle detection on highway images based on Single shot multibox detector	<b>50</b>
<b>Буханцов А.Д., Дружкова И.В., Кулешов С.И., Киселёв Ю.И.</b> Исследование алгоритмов скрытного внедрения информации в пространственные компоненты монохромного изображения	<b>59</b>	<b>Bukhantsov A.D., Druzhkova I.V., Kuleshov S.I., Kiselyov Y.I.</b> Research of algorithms concealed introduction of data in grayscale images spatial domain	<b>59</b>

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
COMPUTER SIMULATION HISTORY**

УДК 681.3.063

DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-4-3-9

Федоров В.И.<sup>1</sup>  
Иващук О.А.<sup>1</sup>Ужаринский А.Ю.<sup>2</sup>**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
СОСТОЯНИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКО-ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ  
НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

<sup>1</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

<sup>2</sup>) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», ул. Комсомольская д. 95, г. Орел, 302026, Россия  
*e-mail: fedorov\_v@bsu.edu.ru, ivaschuk@bsu.edu.ru, udjal89@mail.ru*

**Аннотация**

Сегодня строительство жилых комплексов является одним из приоритетных направлений быстроразвивающихся регионов Российской Федерации, в особенности, следует отметить индивидуальное жилищное строительство. В результате образуются и интенсивно развиваются особые составляющие городских агломераций – сельско-городские территории. Однако планирование и застройка подобных территорий в регионах России в основном осуществляется без рассмотрения вопросов экологической безопасности. В результате сельско-городские территории часто попадают в зоны экологического риска. В связи с этим становится актуальной задача обеспечения результативного управления планированием, застройкой и развитием сельско-городских территорий с учетом их экологической безопасности, что неотъемлемо связано с разработкой и исследованием эффективных методов и моделей поддержки принятия решений в данной сфере. Одним из важнейших компонентов природной среды сельско-городских территорий является почва, состояние которой влияет как на возможность выращивания сельскохозяйственных культур, так и на здоровье проживающего населения. В данной статье рассматриваются результаты моделирования состояния почвенной среды сельско-городских территорий, расположенных в зоне действия автодорог. Авторами предложена математическая модель в виде искусственной нейронной сети, которая позволяет проводить оценку и прогнозирование концентрации загрязняющих веществ в почве в зависимости от параметров автотранспортных потоков и инженерных характеристик прилегающей автодороги. Данная модель реализована с использованием пакета прикладных программ и функций Neural Network Toolbox системы MATLAB. Получаемая в результате моделирования информация может использоваться для принятия результативных управленческих решений в сфере планирования, образования, развития и застройки данных территорий.

**Ключевые слова:** сельско-городские территории; нейронные сети; прогнозирование состояния почв.

UDC 681.3.063

Fedorov V.I.<sup>1</sup>Ivashchuk O.A.<sup>1</sup>Uzharinskiy A.Ju.<sup>2</sup>**DEVELOPMENT OF THE MODEL OF ESTIMATION AND FORECASTING  
OF THE STATE OF SOILS OF RURAL-URBAN TERRITORY  
ON THE BASIS OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

<sup>1</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup>) Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Orel State University named after I.S. Turgenev», 95 Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russia  
*e-mail: fedorov\_v@bsu.edu.ru, ivaschuk@bsu.edu.ru, udjal89@mail.ru*

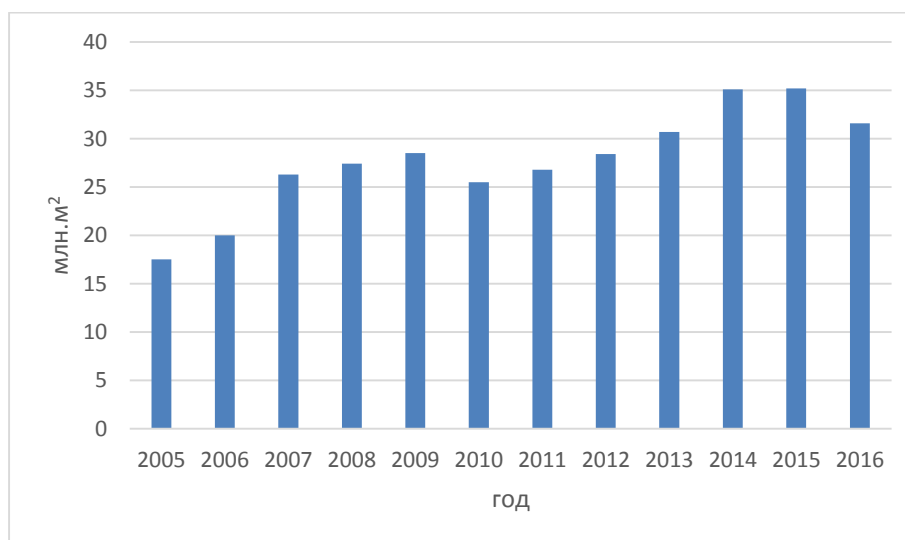
### Abstract

Today, the construction of residential complexes is one of the priority areas of the dynamic regions of the Russian Federation, in particular, it should be noted private housing construction. As a result, special components of urban agglomerations are formed and intensively developed – rural-urban areas. However, the planning and development of such territories in the regions of Russia is mainly carried out without consideration of environmental security. As a result, rural-urban areas often fall into environmental risk zones. In this regard, it becomes important to ensure effective management of planning and development of rural-urban areas, taking into account their environmental safety, which is associated with the research and development of effective methods and models for supporting decision-making in this area. One of the most important components of the natural environment of rural-urban areas is the soil, the state of which affects both the ability to grow crops and the health of the living population. This article examines the results of modeling the state of the soil environment of rural-urban areas located in the area of action of highways. The authors proposed a mathematical model in the form of an artificial neural network, which makes it possible to estimate and predict the concentration of pollutants in the soil, depending on the parameters of motor traffic flows and the engineering characteristics of the adjacent road. This model is implemented using a package of application programs and functions of the Neural Network Toolbox of the MATLAB system. The resulting information can be used to make effective management decisions in the planning, education, development and development of these territories.

**Keywords:** rural-urban territories; neural networks; forecasting of the state of soils.

### ВВЕДЕНИЕ

Сегодня строительство жилых комплексов является одним из приоритетных направлений быстроразвивающихся регионов Российской Федерации. Особенно следует отметить индивидуальное жилищное строительство (ИЖС): по данным Росстата, начиная с 2005г. ежегодные объемы ИЖС постоянно увеличиваются (за исключением периода экономического кризиса 2008-2009гг.) (рисунок 1). Доля индивидуальных жилых домов в общем объеме жилищного строительства к 2017г. составила более 40% [1]. На рисунке 1 отображена площадь вводимого в эксплуатацию индивидуального жилья за 2005-2016гг.



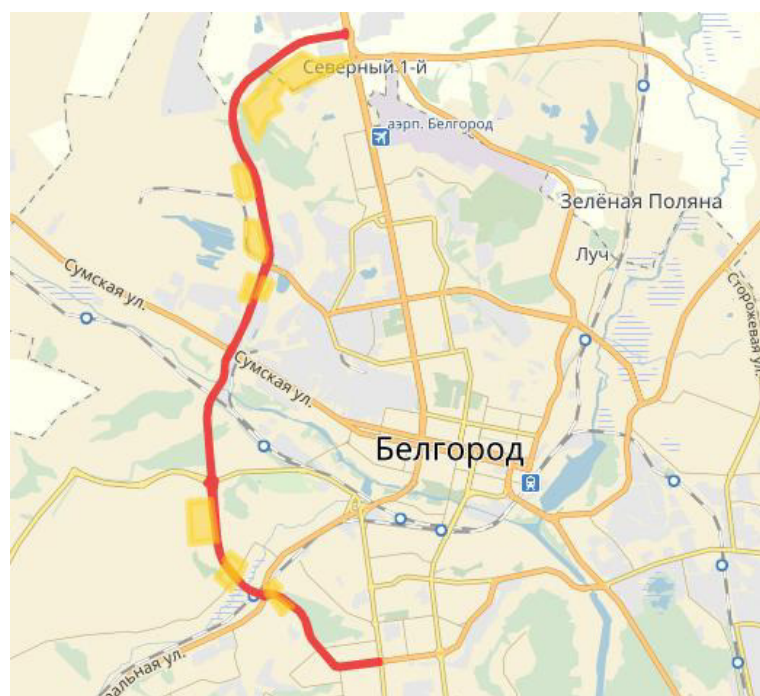
*Рис. 1.* Динамика площади введенного в действие индивидуального жилья в Российской Федерации за период 2005-2016 гг.

*Fig 1.* Dynamics of the area of the constructed individual housing in the Russian Federation for the period 2005-2016

В результате образуются и интенсивно развиваются особые составляющие городских агломераций – сельско-городские территории, население которых трудно отнести к сугубо городскому или сельскому, в частности, это территории ИЖС, рабочие поселки, сельские поселения в черте города, пригородные территории и т.п.[2]

Следует отметить, что планирование и застройка подобных территорий в регионах России в основном осуществляется без рассмотрения вопросов экологической безопасности. В результате сельско-городские территории часто попадают в зоны экологического риска, где наблюдается нарушение санитарных норм для различных компонентов природной среды, имеющие важное значение для здоровья и жизнедеятельности населения.

Например, в 2009 г. в г. Белгороде была введена в эксплуатацию автомагистраль «Спутник – Сумская – Чичерина – ротонда». Целью строительства автомагистрали было снижение нагрузки на центральную улицу города – проспект Б. Хмельницкого, улучшение экологической обстановки и снижение уровня дорожно-транспортных происшествий, а также обеспечение выхода транзитного автотранспорта к приграничным с Украиной районам. Однако сегодня значительная часть автомагистрали пролегает через районы ИЖС. Причем на некоторых участках расстояние до границ жилых домов составляет не более 2 м. Карта с указанием данной автомагистрали показана на рисунке 2, желтыми многоугольниками выделены участки ИЖС.



*Рис. 2. Схема автомагистрали «Спутник – Сумская – Чичерина – ротонда» г. Белгород  
Fig 2. Scheme of the motorway "Sputnik – Sumskaya – Chicherina – rotonda" Belgorod*

В 2016 г. научно-исследовательской лабораторией интеллектуальных автоматизированных систем НИУ «БелГУ» по обращению жителей на одном из таких участков были проведены исследования состояния различных компонентов природной среды. Результаты исследований показали повышение значений ПДК по содержанию углекислого газа (1,8 ПДК), толуола (1,42 ПДК), бензола (1,43 ПДК) в атмосферном воздухе, повышенное содержание свинца (1,56 ПДК), цинка (1,1 ПДК) и меди (1,06 ПДК) в почвах, а также повышенный уровень шума (72 дБА при нормативе 55 дБА). Данные исследования показывают, что на данной территории нежелательно, как длительное проживание, так и ведение личного подсобного хозяйства.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В связи с вышесказанным, становится актуальной задача обеспечения результативного управления планированием, застройкой и развитием сельско-городских территорий с учетом их экологической безопасности что неотъемлемо связано с разработкой и исследованием эффективных методов и моделей поддержки принятия решений в данной сфере, механизмов его информационного обеспечения. При этом должны учитываться особенности сельско-городских территорий, а именно:

- преобладание малоэтажной жилой застройки;
- активное использование земельных участков, в том числе ведение лично подсобного хозяйства, что определяет особое значение состояния почвенной среды.

С одной стороны, преобладание малоэтажной застройки сельско-городских территорий обеспечивает возможность рассеивания загрязняющих веществ, что снижет вероятность их накопления и, как следствие, образования устойчивых зон загрязнения атмосферного воздуха. С другой стороны, отсутствие механизмов эффективного управления с учетом развития экологической ситуации при планировании, образовании, застройке и развитии подобных территорий приводит к такой их пространственной структуре (расположению жилых, промышленных и инфраструктурных объектов), при которой возникает непрерывное агрессивное техногенное воздействие на население, животный и растительный мир.

Одним из важнейших компонентов природной среды сельско-городских территорий является почва, в которой скапливаются стойкие химические соединения, поступающие из различных источников (загрязненный атмосферный воздух, осадки, сточные воды, бытовые отходы, удобрения и т.д.) Загрязняющие вещества могут распространяться по почвенному профилю и накапливаться в высоких концентрациях в верхних горизонтах. Данные процессы влияют как на возможность выращивания сельскохозяйственных культур, так и на загрязнение контактирующих сред (вода, воздух), значительно воздействуя на здоровье и жизнедеятельность населения. Для рассматриваемой территории одним из приоритетных источников загрязнения почв являются автодороги.

В данной статье рассматриваются результаты моделирования состояния почвенной среды сельско-городских территорий, расположенных в зоне действия автодорог. Авторами предложена математическая модель в виде искусственной нейронной сети (ИНС), которая позволяет проводить оценку и прогнозирование концентрации загрязняющих веществ в почве в зависимости от параметров автотранспортных потоков, инженерных характеристик прилегающей автодороги и расстоянию до ИЖС. Данный метод нейросетевого моделирования применялся авторами ранее при построении различных моделей, используемых для прогнозирования состояния природных и природно-технических объектов [3-5].

При разработке подобных ИНС требуется решить следующие задачи:

- определение входных и выходных параметров модели
- сбор данных для обучения;
- выбор топологии сети;
- экспериментальный подбор характеристик сети;
- оценка адекватности разработанной модели.

В качестве входных параметров модели были выбраны показатели характеризующие транспортный поток на выбранной автомагистрали: среднесуточная скорость транспортного потока (км/ч), период эксплуатации автодороги (дней), среднесуточное количество различных типов транспортных средств (легковые, грузовые до 5 т., грузовые более 5 т., автобусы, мотоциклы) (шт.), а также расстояние от автодороги до ИЖС (м).

Выходными параметрами модели были определены концентрации различных загрязняющих веществ (мг/кг): свинца, цинка, хрома, кадмия, бензапирена, нефтепродуктов. Выбор данных

веществ обусловлен тем, что именно они являются основными показателями качества почв для территорий данного вида [6].

Для получения обучающих данных НИЛ интеллектуальных автоматизированных систем управления совместно с центром аналитических исследований НИУ «БелГУ» были проведены лабораторные исследования проб почв отобранных на территории ИЖС, находящихся в зоне действия различных автодорог Белгородской агломераций (всего 200 проб в трехкратном повторении на каждом участке). Результаты данных исследований были разделены на обучающую (по 150-ти пробам) и проверочную выборки (по 50-ти пробам).

Следующим этапом разработки модели на основе ИНС является выбор топологии нейронной сети. Топология должна выбираться исходя из задач решаемых данной моделью. В нашем случае построение модели сводится к решению задачи аппроксимации, для чего в основном используются ИНС следующих топологий: многослойный персептрон и сети с радиально-базисной функцией (RBF). [7-10] Для определения наилучшей топологии и структуры сети были проведены эксперименты с данными топологиями, в которых изменялось количество скрытых слоев, количество нейронов в слоях, использовались различные функции активации и алгоритмы обучения. Для построения ИНС и осуществления экспериментов использовался пакет прикладных программ и функций Neural Network Toolbox системы MATLAB, позволяющий реализовывать ИНС различных топологий. Для оценки адекватности построенных моделей использовались следующие критерии:  $mse$  – среднеквадратичная ошибка, минимизируемая в процессе обучения;  $R^2$  – коэффициент детерминации;  $\bar{A}_{об.}$  и  $\bar{A}_{прог.}$  – средние ошибки аппроксимации на обучающей и тестовой выборках. По результатам проверочных экспериментов лучшие результаты показала сеть с топологией многослойного персептрона с 2 скрытыми слоями (10 и 15 нейронов в каждом слое соответственно) и сигмовидными функциями активации. Для данной модели среднеквадратичная ошибка обучения составила  $mse = 0,3 \cdot 10^{-5}$ ; коэффициент детерминации  $R^2 = 99,73$ ; средние ошибки аппроксимации на обучающей и тестовой выборках:  $\bar{A}_{об.} = 0,98 \%$ ,  $\bar{A}_{прог.} = 0,92 \%$ . Структура данной сети представлена на рисунке 3.

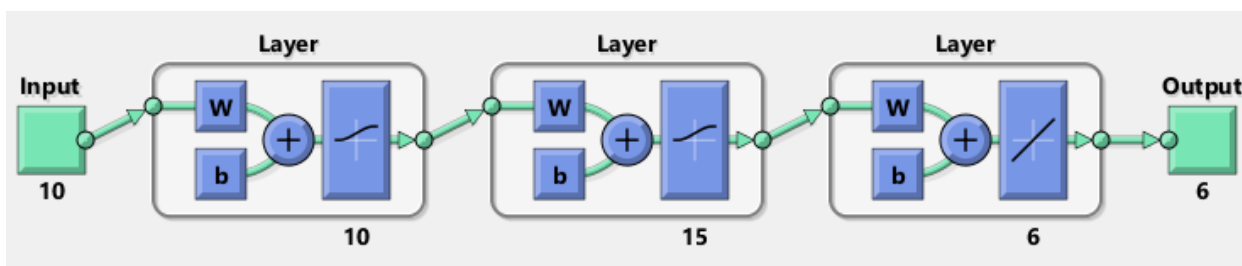


Рис. 3. Структура полученного многослойного персептрона, реализованная в системе MATLAB  
Fig. 3. The structure of the developed multilayer perceptron, implemented in the MATLAB system

Для демонстрации работы модели проведен эксперимент для одной из исследуемых автодорог (входные параметры модели, характеризующие данную автодорогу приведены в таблице 1). Результат моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 1

**Входные параметры, используемые для моделирования**

Table 1

**Input parameters used for modeling**

№	Параметр	Значение
1	Среднесуточная скорость транспортного потока, км/ч	57
2	Период эксплуатации автодороги, дней	1460



№	Параметр	Значение
3	Среднесуточное количество легковых автомобилей, шт.	4480
4	Среднесуточное количество грузовых Автомобилей до 5 т., шт.	510
5	Среднесуточное количество грузовых автомобилей более 5 т., шт.	1860
6	Среднесуточное количество автобусов, шт.	310
7	Среднесуточное количество мотоциклов, шт.	12
8	Расстояние от автодороги, м.	50

Таблица 2

### Результаты моделирования

Table 2

#### Simulation results

№	Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/кг
1	Свинец	11,5
2	Цинк	23,3
3	Хром	15,1
4	Кадмий	1,3
5	Бензапирен	0,01
6	Нефтепродукты	14

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного исследования получены следующие результаты и выводы:

- выбраны основные показатели состояния почв сельско-городских территорий, влияющие как на выращивание сельскохозяйственных культур, так и на здоровье проживающего населения;
- проведены лабораторные анализы состояния почв двухсот участков ИЖС в зоне действия автомобильных дорог;
- для проведения имитационных экспериментов по оценке и прогнозированию состояния почв сельско-городских территорий были исследована и разработана математическая модель в виде ИНС, которая позволяет проводить оценку и прогнозирование содержания загрязняющих веществ в почвах сельско-городских территорий в зоне действия автодорог.

Данная модель может использоваться для принятия результативных управленческих решений в сфере планирования, образования, развития и застройки данных территорий.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-48-03163 «Создание и исследование технологии и прототипа системы интеллектуального экомониторинга, прогнозирования и ситуационного управления биотехносферой сельско-городских территорий».

### Список литературы

1. О жилищном строительстве в 2015 г. [Электронный ресурс]. // Федеральная служба государственной статистики [Официальный сайт]. Web доступ: [http://www.gks.ru/bgd/free/b04\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/b04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm) (20.03.2016 г.)

2. Четошников, С.Г. Региональная политика в отношении сельско-городских территорий / С.Г. Четошников // Вестник томского государственного университета – 2012 - №4 – с.50-52

3. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Shcherbinina N.V., Kvanin D.A., Gakhov R.P. Automated Management of Biotechnosphere of Local Urban Areas / International Business Management, 2015. – Volume: 9. – Issue: 7. – Page No.: 1598-1603.

4. Ivashchuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. Situational modeling for the control of technospheric safety / Journal of current research in science: 4(1), 2016: 84-90.
5. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Fedorov V.I.. Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters / International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 9, Number 22 (2014) pp. 16813-16820.
6. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: СанПиН 2.1.7.1287-03 от 15 июня 2003 г.
7. Yue Wu, Hui Wang, Biaobiao Zhang, K.-L. Du. Using Radial Basis Function Networks for Function Approximation and Classification / ISRN Applied Mathematics, vol. 2012, Article ID 324194, 34 pages, 2012.
8. Liu Y, Starzyk J.A., Zhu Z. Optimized approximation algorithm in neural networks without overfitting / IEEE Trans Neural Network, 2008, vol. 9, p.83-95.
9. Nam Mai-Duy, Thanh Tran-Cong Approximation of function and its derivatives using radial basis function networks / Applied Mathematical Modelling, vol. 27, march 2003, p. 197-220.
10. Sing J.K., Basu D.K., Nasipuri M., Kundu M. Face recognition using point symmetry distance-based RBF network/Applied Soft Computing. 2007, vol 7, p. 58-70.

### References

1. About housing construction in 2016 available at [http://www.gks.ru/bgd/free/b04\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/b04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm)
2. Chetoshnikov S.G. Regional policy on rural - urban areas/ Tomsk State University Journal, 2012, vol. 4, p. 50-52.
3. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Shcherbinina N.V., Kvanin D.A., Gakhov R.P. Automated Management of Biotechnosphere of Local Urban Areas / International Business Management, 2015. – Volume: 9. – Issue: 7. – Page No.: 1598-1603.
4. Ivashchuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. Situational modeling for the control of technospheric safety / Journal of current research in science: 4(1), 2016: 84-90.
5. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Fedorov V.I.. Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters/ International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 9, Number 22 (2014) pp. 16813-16820.
6. Sanitary and epidemiological requirements to soil quality: SanPiN 2.1.7.1287-03, 15 june 2003.
7. Yue Wu, Hui Wang, Biaobiao Zhang, K.-L. Du. Using Radial Basis Function Networks for Function Approximation and Classification / ISRN Applied Mathematics, vol. 2012, Article ID 324194, 34 pages, 2012.
8. Liu Y, Starzyk J.A., Zhu Z. Optimized approximation algorithm in neural networks without overfitting / IEEE Trans Neural Network, 2008, vol. 9, p.83-95.
9. Nam Mai-Duy, Thanh Tran-Cong Approximation of function and its derivatives using radial basis function networks / Applied Mathematical Modelling, vol. 27, march 2003, p. 197-220.
10. Sing J.K., Basu D.K., Nasipuri M., Kundu M. Face recognition using point symmetry distance-based RBF network/Applied Soft Computing. 2007, vol 7, p. 58-70.

**Федоров Вячеслав Игоревич**, ассистент кафедры информационных систем

**Иващук Ольга Александровна**, профессор кафедры информационных систем, доктор технических наук, профессор

**Ужаринский Антон Юрьевич**, доцент кафедры программной инженерии, кандидат технических наук

**Fedorov Vyacheslav Igorevich**, assistant at the Department of Information System

**Ivashchuk Olga Alexandrovna**, professor at the Department of Information System, doctor of technical science, professor

**Uzharinskiy Anton Jurjevich**, assistant professor at the Department of Software Engineering, Candidate of Technical Sciences

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.023

DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-4-10-20

Ломакин В.В.<sup>1</sup>  
Михайлова С.В.<sup>2</sup>  
Маркова З.А.<sup>1</sup>

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ  
SAP-ПРОЕКТОВ**

<sup>1)</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

<sup>2)</sup> ООО «Сайнер», пер. Харьковский д. 36Д, г. Белгород, 308000, Россия

*e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, Mihajlova\_SV@sciener.ru, 1130898@bsu.edu.ru*

### Аннотация

Данная статья посвящена разработке методики оценки исполнителей SAP-проектов с учётом специфических особенностей продуктов SAP. Определены место и значимость процесса формирования команды исполнителей в жизненном цикле SAP-проекта. Определена роль процесса оценки персонала в процессе проектного управления. Выявлены специфические особенности продуктов и проектов SAP, которые оказывают влияние на требования к компетентности исполнителей. В рассматриваемом контексте определены термины «компетенция», «квалификация», «компетентность». Сформулированы основные критерии оценки компетентности исполнителей SAP-проектов. Критерии разделены на кластеры в соответствии с семантикой понятий «компетенция» и «квалификация». Сформированы шкалы оценок с учётом особенностей отдельных критериев. Для критериев рассчитаны коэффициенты значимости с помощью СППР «Решение». Сформулированы основные требования к исполнителям SAP-проектов. Определен и структурирован состав компетенций, необходимых организации для осуществления проектной деятельности. Разработана методика оценки компетентности исполнителей SAP-проектов.

**Ключевые слова:** системы поддержки принятия решений; оценка компетентности персонала; методика оценки исполнителей проекта; SAP ERP.

UDC 004.023

Lomakin V.V.<sup>1</sup>  
Mihajlova S.V.<sup>2</sup>  
Markova Z.A.<sup>1</sup>

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE COMPETENCE  
OF SAP-PROJECT EXECUTIVES**

<sup>1)</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2)</sup> LLC "Sciener", 36D Kharkovskiy lane, Belgorod, 308000, Russia

*e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, Mihajlova\_SV@sciener.ru, 1130898@bsu.edu.ru*

### Abstract

This article is devoted to the development of a methodology for evaluating executors of SAP projects taking into account the specific features of SAP products. The place and importance of the process of forming the team of performers in the life cycle of the SAP project are determined. The role of the process of personnel assessment in the process of project management is defined. Specific features of SAP products and projects have been revealed, which affect the requirements for the competence of performers. In this context, the terms "competence", "qualification",

"competence" are defined. The main criteria for evaluating the competence of executors of SAP projects are formulated. The criteria are divided into clusters in accordance with the semantics of the terms "competence" and "qualification". Scales of assessments are formed taking into account the characteristics of individual criteria. For the criteria, significance factors were calculated using the DSS "Solution". The main requirements for executors of SAP projects are formulated. The composition of the competencies necessary for the organization to carry out the project activity has been determined and structured. A methodology for assessing the competence of SAP project executors has been developed.

**Keywords:** decision support systems; assessment of the competence of the staff; methodology for evaluating project executors; SAP ERP.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проектная деятельность, т.е. деятельность организации по выполнению различных проектов, включает в себя множество процессов, начиная с возникновения идеи проекта или появления потенциального клиента и заканчивая сдачей результатов проекта в эксплуатацию и передачей документации в архив.

Система SAP ERP – комплексная система, состоящая из набора прикладных модулей, поддерживающих различные бизнес-процессы компании и интегрированы в масштабе реального времени. В SAP были разработаны программа ускоренного внедрения системы и инструмент внедрения, средство оценки проектов, определяющее затраты времени, финансовых средств и людских ресурсов, и средства ранней диагностики; система обеспечивает постоянную поддержку специалистов и оперативное решение возникающих проблем [9].

Жизненный цикл SAP-проекта включает в себя 4 основные стадии:

1) стадия исследования – изучение рыночных возможностей, потребностей потенциальных заказчиков, выработка идей проектов, их оценка и разработка. Результатом этой стадии может стать решение о старте проекта.

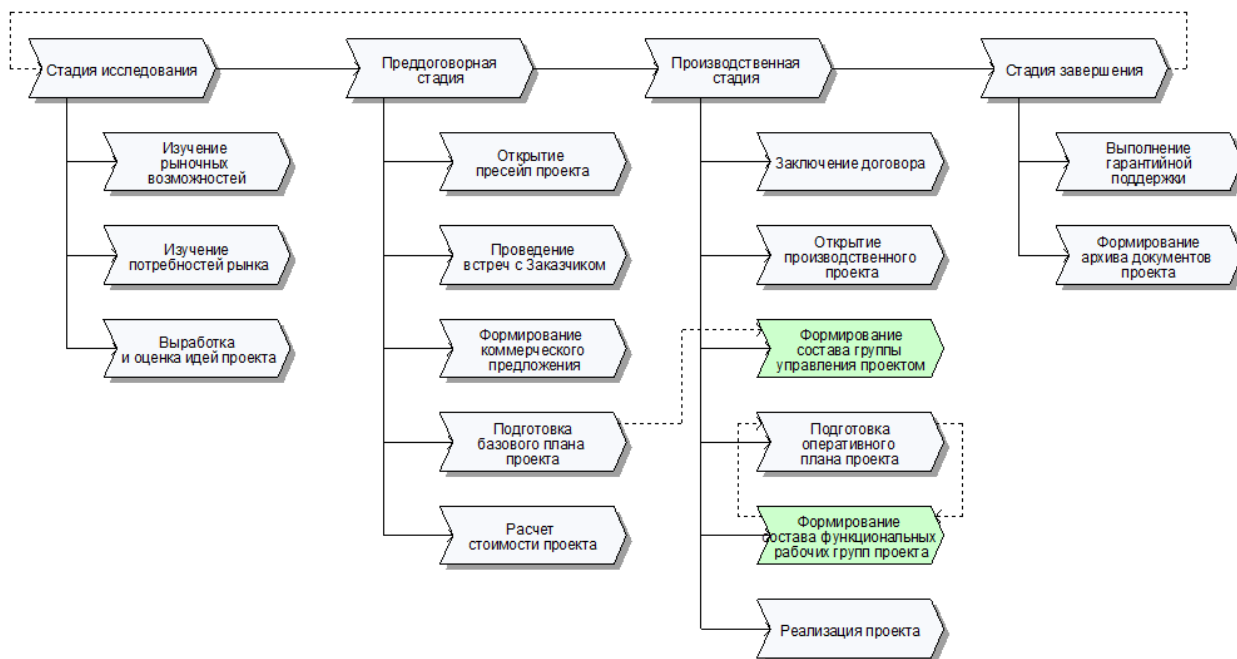
2) преддоговорная (пресейл) стадия – открытие нового пресейл-проекта, целью которого является заключение контракта с потенциальным заказчиком. Для этого проводятся различные мероприятия (встречи, презентации, коммерческие предложения), подготавливается ресурсный план и предварительный расчёт стоимости проекта. Прекращение преддоговорной деятельности происходит по причине заключения контракта с заказчиком или по причине малой вероятности заключения контракта.

3) производственная стадия – начинается после заключения контракта с заказчиком. Включает в себя непосредственное исполнение контрактных обязательств перед заказчиком с заданными при планировании проекта параметрами: объем работ, сроки, качество, стоимость.

4) стадия завершения – передача результатов проекта для промышленной эксплуатации, формальное закрытие проекта и его анализ, передача документации в архив.

Модель жизненного цикла SAP-проекта представлена на рисунке 1.

Важным этапом жизненного цикла SAP-проекта является формирование команды его исполнителей. Это обусловлено тем, что для выполнения конкретных заданий проекта (так называемого оперативного плана) необходимо подобрать таких исполнителей, чья компетентность позволит достигнуть необходимых результатов в установленные сроки [1].



*Рис. 1. Жизненный цикл SAP-проекта  
Fig. 1. SAP-project's Life Cycle*

Этап формирования команды включает в себя два основных шага:

- формирование состава группы управления проектом;
- формирование состава функциональных рабочих групп проекта.

Оптимальный состав исполнителей SAP-проекта формируется, основываясь на информации о текущем уровне компетентности каждого сотрудника организации [8]. Стоит отметить, что проектные компании работают по схеме матричного управления, где на время реализации проекта создаётся временная организационная структура проекта, и каждому участнику проекта определяется роль.

Роль участника проекта отличается от должности сотрудника организации тем, что требования к компетентности для роли более динамичны и непостоянны – по мере выполнения заданий и актуализации оперативного плана проекта требования к участникам могут меняться. Это влечёт за собой необходимость корректировки состава команды исполнителей и проведения повторной оценки компетентности. То есть, процесс оценки персонала и выбора наилучшего исполнителя носит постоянный итеративный характер в общем процессе управления проектом.

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ SAP-ПРОЕКТОВ**

Для того чтобы результаты оценки компетентности сотрудников имели однородную структуру и одинаковое значение, а сам процесс оценки занимал минимум времени (что важно для соблюдения сроков выполнения проекта), необходимо придерживаться одной и той же методики проведения оценки [2, 7]. Кроме того, выбранная методика должна учитывать особенности программного продукта, с которым работает организация, и формируемые этими особенностями специфические требования к компетентности исполнителей проекта.

Продукты SAP имеют следующие особенности:

- система SAP состоит из набора прикладных модулей, и каждый требует знаний стандартных транзакций и настроек, возможных расширений, точек интеграции с другими SAP и не SAP системами;

- система SAP универсальна и рассчитана на внедрение в любых отраслях. Для конфигурирования существующих отраслевых решений SAP требуется знание как отдельных модулей, так и особенностей ведения бизнеса в конкретной отрасли;

- система поддерживает различные технологии, которые требуют знания различных языков программирования, например ABAP4, JAVA, WEB UI и пр.;

- продукт готов к внедрению в среднем на 50%, т.е. специалисту необходимо, помимо базовых настроек и функций, знать технологии расширения имеющихся функций;

- основная часть документации по системе написана на английском, что требует от специалиста SAP знания технических основ этого языка;

- система подготовки специалистов знаниям функциональностей SAP основана на классификации учебных курсов SAP по уровням сложности, по продуктовой линии и относительно профильного направления;

- вендор (компания SAP SE) непрерывно развивает новые технологии и обновляет программные продукты, поэтому специалисту SAP необходимо постоянно изучать новые области и продукты.

Все эти особенности следует учесть при разработке методики оценки компетентности исполнителей SAP-проектов. Но, прежде всего, необходимо определить основные понятия и термины, используемые при оценке компетентности.

Компетенция – это способность применять знания и умения из определенной предметной области для решения конкретных задач проекта, где уровень способности определяется следующими качественными значениями:

- высокий уровень – продемонстрированный уровень применять знания и умения;
- средний уровень – готовность применять знания и умения;
- низкий уровень – компетенция отсутствует.

Квалификация – в контексте оценки SAP-специалистов, это показатель, характеризующий наличие образования, опыта работы и сертификатов SAP. При предоставлении соответствующих подтверждающих документов, данный показатель может быть оценён следующим образом:

- соответствует требованиям;
- не соответствует требованиям.

Компетентность – комплексная оценка, включающая в себя уровень владения различными компетенциями и наличие определенной квалификации. То есть, это обобщённый показатель «компетенции» и «квалификации».

На основании указанных выше особенностей SAP-проектов, а также определения основных терминов, требования (критерии) к исполнителям SAP-проекта могут быть разделены на два кластера [3]:

1) кластер «Требования к квалификации»: требование к образованию; требования к практическому опыту работы; требование к наличию сертификатов SAP;

2) кластер «Требования к наличию компетенций»: знание методологии направления профильной деятельности; работа с интернет – ресурсами SAP; владение английским языком; сопутствующее программное обеспечение; инструментальные средства SAP; личные качества; знание функциональности SAP направления профильной деятельности (с учётом классификации вендора курсов SAP).

Иерархическая схема уровня компетентности исполнителей SAP-проекта представлена на рисунке 2. Как видно из рисунка, основная часть требований к исполнителю специфична для SAP-проектов. Это подтверждает необходимость учёта особенностей программного продукта при выборе методологии оценки исполнителей.

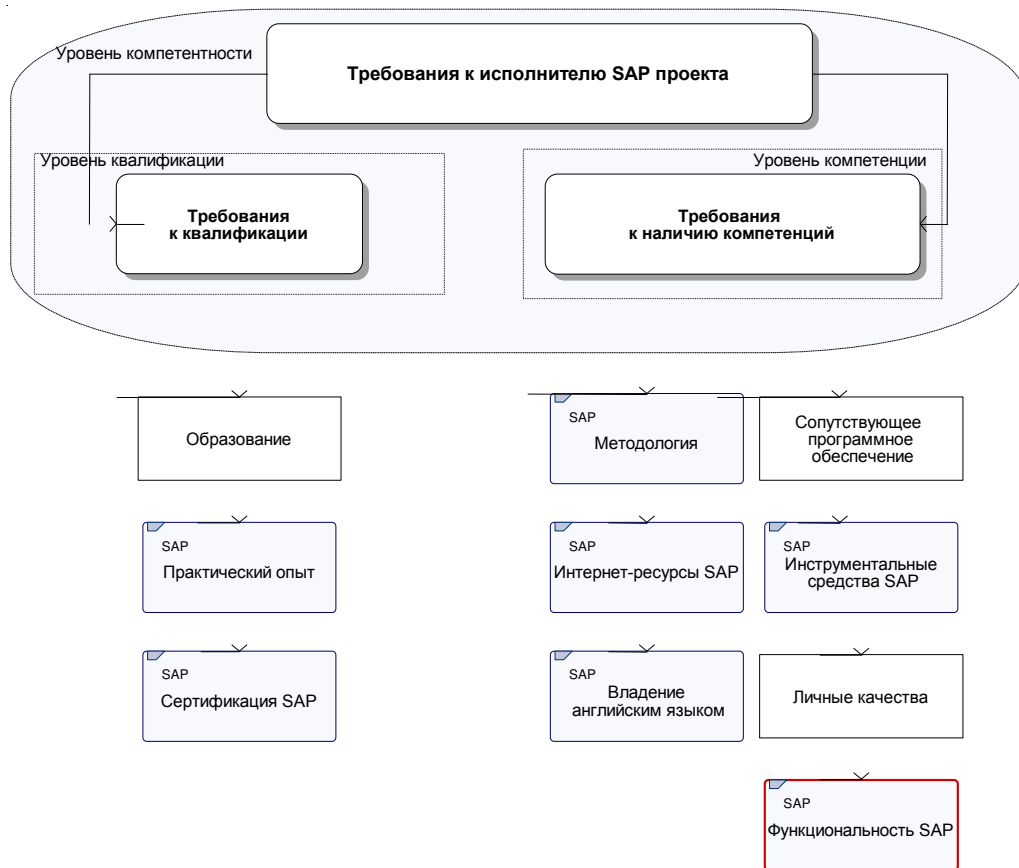


Рис. 2. Основные кластеры компетентности исполнителя SAP-проекта  
Fig. 2. The main clusters of competence of the SAP-project executor

Компетенции «Функциональность SAP» следует формировать с учётом подхода вендора к классификации уровней курсов SAP (рисунок 3).



Рис. 3. Классификация уровней курсов SAP  
Fig. 3. SAP Course Level classification

Далее, для перевода полученных качественных характеристик в количественные, требуется ввести числовую шкалу оценки компетенций, где 100 – наивысшее количество баллов для максимального уровня владением компетенции.

Для оценки квалификации, где имеется всего два возможных результата оценки, числовая шкала будет иметь также две отметки. Шкала приведена в таблице 1.

Таблица 1

**Шкала оценки квалификации**

Table 1

**Scale of qualification evaluation**

№пп	Наименование качественного значения квалификации	Количественное значение
1	Соответствует требованиям	100
2	Не соответствует требованиям	0

Для оценки компетентности, подразумевающей три уровня владения (высокий, средний и низкий), шкала оценки будет иметь иной вид. Принимая во внимание тот факт, что в 80% случаев исполнитель, обладающий готовностью применить свои знания на практике, успешно справлялся с поставленными задачами, вводится коэффициент 0,8 для среднего уровня. Шкала представлена в таблице 2.

Таблица 2

**Шкала оценки компетенции**

Table 2

**Scale of Competency evaluation**

№пп	Наименование качественного значения компетенции	Количественное значение
1	Высокий уровень – продемонстрированный уровень применять знания и умения	100
2	Средний уровень – готовность применять знания и умения	80
3	Низкий уровень – компетенция отсутствует	0

Такая шкала может быть применима ко всем критериям из кластера «Требования к наличию компетенций», кроме критерия «Функциональность SAP». Причиной этого является тот факт, что освоение функциональности SAP имеет шесть этапов:

- 1) Знания отсутствуют;
- 2) Сотрудник обладает теоретическими знаниям курсов по компоненту SAP;
- 3) Сотрудник изучил стандартные транзакции компонента SAP;
- 4) Сотрудник обладает знаниями стандартных настроек компонента SAP;
- 5) Сотрудник изучил стандартные таблицы БД компонента SAP;
- 6) Сотрудник знает стандартные расширения компонента SAP.

Кроме того, на каждом этапе уровень знаний может быть оценён в соответствии с основной шкалой оценки компетенций. Таким образом, для оценки критерия «Функциональность SAP» следует применять отдельную шкалу, которая представлена в таблице 3.



Таблица 3

**Количественная шкала оценки критерия «Функциональность SAP»**

Table 3

**A quantitative scale for assessing the criterion "Functionality of SAP"**

Степень овладения компонентом SAP	Оценка уровня компетенции	Количественная шкала
Стандартные расширения компонента SAP	Высокий уровень	100
	Средний уровень	80
Стандартные таблицы БД компонента SAP	Высокий уровень	75
	Средний уровень	60
Стандартные настройки компонента SAP	Высокий уровень	50
	Средний уровень	40
Стандартные транзакции компонента SAP	Высокий уровень	25
	Средний уровень	20
Теоретическое знание курсов по компоненту SAP	Низкий уровень	0
Знания отсутствуют	Низкий уровень	0

После получения числовых шкал оценки компетенции и квалификации, в целях получения более объективных результатов, вводятся весовые коэффициенты значимости каждого критерия, рассчитанные с помощью программы СПИР «Решение» [4, 5, 6, 10]. Результаты расчётов коэффициентов для критериев кластера «Квалификация» представлены в таблице 4, для критериев кластера «Компетенция» – в таблице 5.

Таблица 4

**Коэффициенты значимости критериев для кластера «Квалификация»**

Table 4

**Criteria significance factors for the "Qualification" cluster**

№ пп	Кластер	Критерии	Коэффициент значимости
1	Требования к квалификации	Требование к образованию	0,3333
2		Требования к практическому опыту работы	0,3333
3		Требование к наличию сертификатов SAP	0,3333
			1

Таблица 5

**Коэффициенты значимости критериев для кластера «Компетенция»**

Table 5

**Criteria significance factors for the "Competence" cluster**

№ пп	Кластер	Критерии	Коэффициент значимости
1	Требования к наличию компетенций	Знание методологии направления профильной деятельности	0,133
2		Работа с интернет-ресурсами SAP	0,070
3		Владение английским языком	0,054
4		Сопутствующее программное обеспечение	0,039
5		Инструментальные средства SAP	0,321

№ пп	Кластер	Критерии	Коэффициент значимости
6		Личные качества	0,031
7		Знание функциональностей SAP направления профильной деятельности (с учетом классификации вендора курсов SAP).	0,352
			1

Заключительным этапом разработки методологии оценки исполнителей SAP-проектов является составление матрицы компетенций. Она приведена в таблице 6.

Таблица 6

**Структура матрицы компетенций исполнителей SAP-проектов**

Table 6

**Structure of Competence Matrix of SAP Project Implementers**

№ пп	Кластер критериев/ Критерий	Кластер подкритериев/ Подкритерий	Роль 1	Роль N	Варианты результата оценки
	<b>Уровень компетентности</b>				
1.	Уровень квалификации				
1.1.	Образование	Компетенция 1	+		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Соответствует требованиям;</li> <li>▪ Не соответствует требованиям.</li> </ul>
		Компетенция N		+	
1.2.	Практический опыт	Компетенция 1	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Не соответствует требованиям.</li> </ul>
		Компетенция N		+	
1.3.	Сертификация SAP	Компетенция 1		+	<i>Определяются на основании представленных документов</i>
		Компетенция N	+	+	
2.	Уровень компетенции				
2.1.	Методология	Компетенция 1	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Высокий уровень – продемонстрированный уровень применять знания и умения;</li> <li>▪ Средний уровень – готовность применять знания и умения;</li> <li>▪ Низкий уровень – компетенция отсутствует.</li> </ul> <i>Определяются методом экспертных оценок.</i>
		Компетенция N		+	
2.2.	Интернет-ресурсы SAP	Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
2.3.	Владение англ. языком	Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
2.4.	Сопутствующее программное обеспечение	Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
2.5.	Инструментальные средства SAP	Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
2.6.	Личные качества	Компетенция 1	+		
		Компетенция N	+	+	
		Компетенция N	+		
2.7.	Функциональность SAP	<b>Курсы общего направления</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Стандартные расширения компонента</li> </ul>
		<i>Вводные курсы</i>			

№ пп	Кластер критериев/ Критерий	Кластер подкритериев/ Подкритерий	Роль 1	Роль N	Варианты результата оценки
		Компетенция 1	+	+	SAP <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Стандартные таблицы БД компонента SAP</li> <li>▪ Стандартные настройки компонента SAP</li> <li>▪ Стандартные транзакции компонента SAP</li> <li>▪ Теоретическое знание курсов по компоненту SAP</li> <li>▪ Знания отсутствуют</li> </ul> Определяются методом экспертных оценок.
		<i>Базовые курсы</i>			
		Компетенция 1	+	+	
		<i>Углубленные курсы</i>			
		Компетенция 1		+	
		<b>Курсы смежного направления</b>			
		<i>Вводные курсы</i>			
			+	+	
		<i>Базовые курсы</i>			
		Компетенция 1		+	
		<i>Углубленные курсы</i>			
		Компетенция 1			
		<b>Курсы профильного направления</b>			
		<i>Вводные курсы</i>			
		Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
		<i>Базовые курсы</i>			
		Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
		<i>Углубленные курсы</i>			
		Компетенция 1	+	+	
		Компетенция N		+	
		<b>Курсы общесистемного направления</b>			
		Компетенция 1		+	
	<b>Всего компетенций, шт.</b>				

Матрица включает в себя перечень всех возможных компетенций, перечень ролей, необходимых для выполнения SAP-проектов, а также отметки о том, является для конкретная компетенция необходимой для конкретной роли.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, показана важность процесса оценки компетентности в процессе проектного управления. В соответствии с выявленными специфическими особенностями продуктов и проектов SAP сформулированы требования к исполнителям, определен и структурирован состав компетенций, предложены методы оценки каждой компетенции и разработана методика оценки компетентности исполнителей SAP-проектов.

### **Список литературы**

1. Демарко Т. Листер Т. Человеческий фактор: успешные проекты и команды. – СПб.: Символ-Плюс, 2005. 142 с.

2. Доронина И.В., Меньшова В.Н. Основы оценки персонала: электронный учебник. URL: [http://siu.ranepa.ru/UMM\\_1/2440/2\\_3.htm](http://siu.ranepa.ru/UMM_1/2440/2_3.htm) (дата обращения: 06.12.2017).
3. Дублин А.Б. Проект «Методика оценки уровня компетентности SAP специалистов»: электронный ресурс. URL: <http://sapland.ru/sapland-news/startoval-proekt-metodika-obektivnoi-otsenki-urovnya-kompetentnosti-sap-spetsial.html> (дата обращения: 07.12.2017).
4. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Оценка инновационных проектов с использованием системы поддержки принятия решений «Решение» // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: «Воспроизводство интеллектуального капитала в системе высшего профессионального образования». – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. С. 267-270.
5. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Система поддержки принятия решений с автоматизированными средствами корректировки суждений экспертов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. 2014. №1(172). С. 114-120.
6. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-9. С. 1798-1803.
7. Мизинцева М.Ф., Сардарян А.Р. Оценка персонала. М.: Юрайт. 2014. 19 с.
8. Михайлова С.В. Управление человеческими ресурсами IT-проекта // Молодой учёный. 2015. №24 (104). С. 69-72.
9. Многокритериальный выбор корпоративной системы с применением инструментальных средств повышения степени согласованности матриц парных сравнений / Ломакин В.В., Путивцева Н.П., Зайцева Т.В., Лифиренко М.В., Зайцев И.М. // Информационные системы и технологии. 2017. № 6 (104). С. 85-93.
10. Саати Т.Л. Относительное измерение и его обобщение при принятии решений: почему парные сравнения являются центральными в математике для измерения нематериальных факторов – аналитической иерархии / сетевого процесса. URL: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF> (дата обращения: 15.11.2017).

### References

1. Demarco T., Lister T. Peopleware: Productive Projects and Teams. – Saint Petersburg: Simvol-plyus, 2005. P. 142.
2. Doronina I.V., Men'shova V.N. Fundamentals of staff assessment: an electronic textbook . URL: [http://siu.ranepa.ru/UMM\\_1/2440/2\\_3.htm](http://siu.ranepa.ru/UMM_1/2440/2_3.htm) (accessed: 06.12.2017).
3. Dublin A.B. Project «Methodology for assessing the level of competence of SAP specialists»: an electronic resource. URL: <http://sapland.ru/sapland-news/startoval-proekt-metodika-obektivnoi-otsenki-urovnya-kompetentnosti-sap-spetsial.html> (accessed: 07.12.2017).
4. Lomakin V.V., Lifirenko M.V. Evaluation of innovative projects using Decision Support System «Reshenie» // Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation: "Reproduction of intellectual capital in the system of higher professional education". – Belgorod: Publishing House «Belgorod» of Belsu, 2013. Pp. 267-270.
5. Lomakin V.V., Lifirenko M.V. Decision support system with automated means for correcting judgments of experts // Scientific statements of Belsu. 2014. № 1 (172). Pp. 114-120.
6. Lomakin V.V., Lifirenko M.V. Algorithm for increasing the degree of consistency of the matrix of paired comparisons during expert surveys // Fundamental research. 2013. № 11-9. Pp. 1798-1803.
7. Mizinceva M.F., Sardanyan A.R. Personel assessment. Moscow: YUrajt. 2014. P. 19.
8. Mihajlova S.V. Human Resource Management of IT Project // The young scientist. 2015. № 24 (104). Pp. 69-72.
9. Multicriteria selection of a corporate system with the use of tools to improve the consistency of matrices of paired comparisons / Lomakin V.V., Putivceva N.P., Zajceva T.V., Lifirenko M.V., Zajcev I.M. // Information systems and technologies. 2017. № 6 (104). Pp. 85-93.
10. Saaty Th. L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process. URL: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF> (accessed: 15.11.2017).

**Ломакин Владимир Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий

**Михайлова Светлана Валерьевна**, руководитель практики решений для энергетики ООО «Сайнер»

**Маркова Зинаида Александровна**, студент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Lomakin Vladimir Vasilyevich**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of applied informatics and information technologies

**Mikhailova Svetlana Valeryevna**, head of the practice of solutions for the energy of LLC "Sciener"

**Markova Zinaida Alexandrovna**, student of the Department of applied informatics and information technologies

УДК 007.51

DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-4-21-29

Чмирева Е.В.

**АЛГОРИТМ ВЫБОРА CRM-СИСТЕМЫ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С КЛИЕНТАМИ**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85,  
г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: chmireva@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

Практический опыт показывает, что на сегодня как в России, так и за рубежом нет совершенного способа, помогающего выбрать оптимальную готовую систему управления информацией о клиентах. Компании-производители CRM создают собственные способы и методики, в конечном итоге нацеленные на использование CRM, которые ими и разрабатываются. В результате – систем и методик много, а выбрать оптимальный вариант для организации все сложнее и сложнее.

На сегодняшний день в России и за рубежом нет совершенного способа, помогающего выбрать оптимальную готовую систему управления информацией о клиентах. Обязательное и необходимое условие для выбора оптимальной CRM-системы – это ясность и понимание задач, которые компания хочет решить. В статье рассматривается алгоритм выбора CRM-системы с использованием методов качественного и количественного анализа для получения конкретного обоснования для принятия решения. Качественный анализ позволит выявить возможные критерии выбора CRM-системы. Количественный анализ позволяет определить количественное соотношение компонентов в анализируемом объекте. На завершающем этапе выбора CRM-системы, на основании выбранных критериев, для сравнения отобранных ранее систем можно использовать метод анализа иерархий.

**Ключевые слова:** CRM-система; взаимодействие с клиентами; бизнес-критерии.

UDC 007.51

Chmireva E.V.

**ALGORITHM FOR CHOICE OF CRM SYSTEM TO IMPROVE CUSTOMER INTERACTION**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: chmireva@bsu.edu.ru*

**Abstract**

Practical experience shows that today, both in Russia and abroad, there is no perfect way to help choose the optimal system for managing customer information. Manufacturing companies CRM create their own methods and techniques, ultimately aimed at using CRM, which they are developed. As a result, there are a lot of systems and methods, and choosing the best option for the organization is more and more difficult.

For today in Russia and abroad there is no perfect way, helping to choose the optimum ready system of information management about clients. An obligatory and necessary condition for choosing the optimal CRM-system is clarity and understanding of the tasks that the company wants to solve. The article examines the algorithm for choosing a CRM-system using qualitative and quantitative analysis methods to obtain a concrete justification for making a decision.

Qualitative analysis will identify possible criteria for selecting a CRM-system. Quantitative analysis allows you to determine the quantitative ratio of components in the analyzed object. At

the final stage of choosing a CRM system, based on the selected criteria, you can use the hierarchy analysis method to compare previously selected systems.

**Keywords:** CRM system; interaction with customers; the business criteria.

Практический опыт показывает, что на сегодня как в России, так и за рубежом нет совершенного способа, помогающего выбрать оптимальную готовую систему управления информацией о клиентах. Компании-производители CRM создают собственные способы и методики, в конечном итоге нацеленные на использование CRM, которые ими и разрабатываются. В результате – систем и методик много, а выбрать оптимальный вариант для организации все сложнее и сложнее.

Отсутствие грамотной методики выбора очень часто приводит к тому, что небольшие компании, выбирающие для себя CRM, включают в потенциальный список совершенно полярные системы, как по функционалу, так и по стоимости. Получается парадокс: компания рассматривает к использованию одновременно и дорогостоящую комплексную CRM, ориентированную на холдинги и корпорации с многочисленными филиалами, и скромную систему с базовым функционалом, рассчитанную на малое предприятие с общей численностью персонала в 10-15 человек.

Проблема выбора дополнительно усложняется из-за ограниченности бюджета, который характерен для малых и средних компаний.

С практической точки зрения процесс выбора готовой CRM можно разделить на следующие шаги:

1) Определение целей использования CRM и цены, которую компания готова за это заплатить.

2) Бизнес-критерии выбора CRM.

Для выбора CRM-системы целесообразно использовать метод качественного и количественного анализа.

Качественный анализ позволит выявить возможные критерии выбора CRM-системы.

Критерий – признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо [4].

Первым шагом в проведении качественного анализа является четкое определение всех возможных критериев выбора CRM-систем, существующих на рынке.

Обязательное и необходимое условие для выбора оптимальной CRM – это ясность и понимание задач, которые компания хочет решить. Для того чтобы это понимание появилось, целесообразно проанализировать факторы, влияющие на выбор CRM-системы (таблица 1).

*Таблица 1*

### **Факторы, влияющие на выбор CRM-системы**

*Table 1*

#### **Factors influencing the choice of CRM system**

Факторы	Описание
Цели, которые необходимо достигнуть при внедрении	– повышение качества обслуживания клиентов; – сведение данных по работе с клиентами в единую базу; – доступ к отчетам в режиме онлайн; – создание списка необходимых мероприятий и их результатов; – контроль за работой менеджеров.
Система складского учета и бухгалтерии	1С: Предприятие 7.7
Ассортимент товаров компании	Оборудование и программное обеспечение для автоматизации торговли

Факторы	Описание
Принцип ценообразования	Цена закрепленная, зафиксированная в 1С и менеджер не имеет права давать скидки
Степень автоматизации процесса продаж	Бизнес-процесс продаж формализован и 80-90% продаж идет по четкому алгоритму
Клиенты компании	Физические и юридические лица
Количество потенциальных клиентов на рынке	Большое, требуется много времени на занесение данных в бумажные носители
Регулярность закупок клиентов	80% регулярных закупок, 20% разовых
Принцип расчета бонусов менеджеров	Бонусы менеджеров считаются как процент от выполнения плана
Специалисты, которые будут работать с системой	Руководство, сотрудники отделов
Бюджет, выделенный на автоматизацию	Имеет значение бюджетность

Вторым шагом выбора CRM-системы является количественный анализ, который позволит определить количественное соотношение компонентов в анализируемом объекте.

На сегодняшний день на рынке представлены сотни CRM решений, и только небольшое количество из них могут подойти оптимально конкретному бизнесу. Чтобы получить короткий список, нужно из длинного списка последовательно исключить все компании, чьи решения не подходят по функционалу, масштабу и другим критериям.

Для отбора были выбраны комплексные CRM-системы, занимающие первые 7 позиций в рейтинге, составленном специалистами информационного портала «Практика CRM» (таблица 2) [9].

Таблица 2

### Рейтинг комплексных CRM-систем

Table 2

#### The rating of complex CRM-systems

	Система	Вендор
1	Microsoft Dynamics CRM	Microsoft
2	Oracle Siebel CRM	ORACLE
3	1С:CRM ПРОФ 2.0	1С-Парус
4	SugarCRM	SugarCRM
5	ELMA CRM	ELMA
6	SAP CRM	SAP AG
7	Мегаплан	Мегаплан

Краткая характеристика выбранных систем:

#### 1) Microsoft Dynamics CRM.

Платформа бизнес-приложений Microsoft Dynamics CRM позволяет российским компаниям повышать конкурентоспособности за счет роста эффективности работы с клиентами розничного и корпоративного сегментов, сокращать затраты на запуск и продажи новых продуктов и повышать удовлетворенность заказчиков благодаря использованию передовых технологий.

Microsoft Dynamics CRM — мощный инструмент для управления взаимоотношениями с клиентами. Он повышает продуктивность сотрудников внутри и вне организации и облегчает взаимодействие отделов продаж, маркетинга и обслуживания клиентов с помощью современных технологий, интегрированных в единую рабочую среду.



Ключевые результаты использования Microsoft Dynamics CRM:

- снижение стоимости привлечения новых клиентов, высокое качество маркетинговых данных и возможность анализа возврата на маркетинговые инвестиции;
- сокращение цикла и стоимости продажи, управление воронкой продаж, увеличение количества закрытых сделок;
- увеличение продаж существующим клиентам, снижение стоимости обслуживания клиентов, повышение их удовлетворенности и лояльности [8].

#### 2) Oracle Siebel CRM.

Oracle Siebel CRM – система управления взаимоотношениями с клиентами, позволяющая построить комплексную корпоративную информационную систему, автоматизирующую как операции фронт-офиса: управление продажами, сервисом, маркетингом и взаимоотношения с партнерами, – так и бэк-офисные задачи: аналитика, управление заказами и персоналом, расчет компенсаций сотрудникам и т.п. Система также позволяет провести интеграцию с любыми ИТ-системами клиента.

Преимущества Oracle Siebel CRM:

- Модульная структура – позволяет компаниям выбирать и использовать только необходимые модули. Это дает возможность внедрять систему поэтапно.
- Гибкость и расширяемость – архитектура и средства настройки Siebel позволяют конфигурировать продукт в соответствии с требованиями бизнеса.
- Наличие более 20-ти полнофункциональных отраслевых CRM-решений, адаптированных под особенности конкретных отраслей, позволяют снизить стоимость части услуг в CRM-проекте. Кроме того, отраслевые CRM-решения содержат в себе опыт и технологии работы различных предприятий отрасли, что еще больше увеличивает их ценность [9].

#### 3) 1С:CRM ПРОФ 2.0.

Решение «1С:CRM ПРОФ. Редакция 2.0» предназначено для компаний среднего бизнеса, а также для компаний малого бизнеса с потребностью совместной работы более 5 пользователей в единой информационной базе. Аналитическая CRM-система позволяет автоматизировать все бизнес-процессы компании в соответствии с концепцией CRM, включая отделы закупок, продаж, маркетинга, сервисного обслуживания и службы качества, а также управлять бизнес-процессами на всех этапах взаимодействия с клиентами и внутри организации.

«1С:CRM ПРОФ 2.0» позволяет:

- построить систему управления продажами;
- повысить лояльность клиентов;
- увеличить объем продаж [9].

#### 4) SugarCRM.

SugarCRM – рейтинговая opensource CRM-система, которую используют десятки тысяч компаний по всему миру. Огромное количество модулей расширения и отсутствие лицензий на подключение пользователей обеспечивает SugarCRM важное преимущество – низкую стоимость владения.

CRM-система на основе SugarCRM помогает решать задачи:

- централизация клиентской базы;
- автоматизация прямых продаж;
- удержание клиентов;
- оперативный анализ процессов продаж и маркетинга;
- повышение эффективности работы контакт-центра;
- повышение эффективности работы менеджеров по продажам и маркетингу;
- повышение эффективности сервисного обслуживания [9].

#### 5) ELMA CRM.

Приложение "ELMA: CRM" входит в состав системы ELMA, предназначенной для управления компанией. Приложения ELMA могут быть приобретены и функционировать как отдельные приложения, так и вместе в едином информационном пространстве. "ELMA: CRM" относится к классу операционного CRM, основными функциями которого являются управление процессом продаж и ведение истории взаимоотношений с клиентами [9].

6) SAP CRM.

Система "Управление взаимоотношениями с клиентами" (SAP CRM) является единственным решением класса CRM, которое позволяет объединять сотрудников, партнеров, процессы и технологии в рамках полного замкнутого цикла взаимодействия с клиентами. Оно предоставляет средства для выполнения проверки доступности ресурсов в режиме реального времени, управления договорами, управления фактурированием. С его помощью достигается высокая степень прозрачности выполнения заказов и отслеживания их статуса.

Решение также предлагает функции и возможности для планирования маркетинговой деятельности, управления маркетинговыми кампаниями, осуществления телемаркетинга, генерации новых возможностей продаж и сегментации клиентской базы. Кроме того, решение SAP CRM "Управление взаимоотношениями с клиентами" позволяет предприятиям предлагать клиентам поддержку по самым различным каналам: через центр взаимодействия с клиентами, с помощью Интернет-приложений для самообслуживания клиентов, приложений для управления сервисом и рекламациями, путем обслуживания и выполнения работ у клиентов, а также управления базой установленного у клиентов оборудования.

7) Мегаплан.

CRM-система Мегаплан основана на постановке задач с последующим ведением проектов. Кроме того, она дополнена множеством полезных функций. Например, в ней возможно ведение клиентской базы и базы сотрудников, управленческий и финансовый учет.

В системе Мегаплан четко прописана полная структура организации, все ее отделы с указанием начальников и подчиненных, есть возможность ограничить права пользователя.

Во время постановки задач в Мегаплане указываются сроки, ответственные лица, заказчик и связь с прочими задачами.

Мегаплан универсален, и это его главное достоинство. Он подойдет для работы на предприятии любой направленности: будь то небольшое кафе, в котором работают 10 человек, или же крупное предприятие с большим количеством сотрудников [9].

Для того, чтобы осуществить выбор наиболее подходящих CRM-систем для предприятия проранжируем критерии. Наиболее значимыми являются следующие критерии:

- 1) Соответствие требованиям бизнеса.
- 2) Интеграция с учетной системой.
- 3) Совокупная стоимость внедрения.
- 4) Возможность настройки CRM-системы под пользователей.
- 5) Наличие аналитических инструментов.
- 6) Работа через Интернет.

Соответствие требованиям бизнеса – соотношение целей и задач предприятия функциональности CRM-системы [10]. Систему необходимо выбирать под требования бизнеса, а не наоборот. В данном случае говорится об отраслевой применимости системы.

Используя сравнительную характеристику систем, рассмотрим функциональность CRM-систем «Microsoft Dynamics CRM», «Oracle Siebel CRM», «1C:CRM ПРОФ 2.0», «SugarCRM», «ELMA CRM», «SAP CRM», «Мегаплан» по критерию «Соответствие требованиям бизнеса» (таблица 3).

Таблица 3

**Сравнение CRM-систем по критерию «Соответствие требованиям бизнеса»**

Table 3

**Comparison of CRM systems for the criterion "Compliance with the requirements of the business"**

	Microsoft Dynamics CRM	Oracle Siebel CRM	1С:CRM ПРОФ 2.0	Sugar CRM	ELMA CRM	SAP CRM	Мегаплан
Торговля оптовая	+	-	+	+	+	+	+
Торговля розничная	+	-	+	-	+	+	+

Следующий критерий – интеграция с учетной системой. Здесь подразумевается возможность интеграции CRM-систем с «1С» (таблица 4).

Таблица 4

**Сравнение CRM-систем по критерию «Интеграция с учетной системой»**

Table 4

**Comparison of CRM systems according to the criterion of "Integration with the accounting system"**

	Microsoft Dynamics CRM	Oracle Siebel CRM	1С:CRM ПРОФ 2.0	Sugar CRM	ELMA CRM	SAP CRM	Мегаплан
«1С: Предприятие»	+	-	+	+	+	-	-

Совокупная стоимость владения информационной системы включает сумму прямых и косвенных затрат на приобретение и внедрение системы на предприятии. В стоимость входят сумма затрат на приобретение лицензий для рабочих мест, стоимость подготовки технического задания и технической документации, затраты на информационно – технологическое сопровождение разработчика и на получение консультаций у специалистов.

Системы сравниваются по затратам на лицензию сервера, затратам на лицензию одного рабочего места и затратам на поддержку (% в год от первичной стоимости).

Следующий критерий – возможность настройки CRM-системы под пользователей. Как сама организация, так и среда, окружающая ее, изменяются со временем. Это приводит к необходимости изменять условия работы пользователей CRM системы. Для эффективной работы, необходимо, чтобы в системе была предусмотрена возможность простого и быстрого изменения пользовательских функций в соответствии с меняющимися бизнес-задачами.

В данном случае системы сравниваются по возможности настройки системы под задачи компании (таблица 5).

Таблица 5

**Сравнение CRM-систем по критерию «Возможность настройки CRM-системы под пользователей»**

Table 5

**Comparison of CRM systems in terms of "The ability to customize the CRM system for users"**

	Microsoft Dynamics CRM	Oracle Siebel CRM	1C:CRM ПРОФ 2.0	Sugar CRM	ELMA CRM	SAP CRM	Мегаплан
Возможность настройки системы	Для пользователя; Для администратора; Для программиста	Для пользователя; Для администратора; Для программиста	Для пользователя; Для администратора; Для программиста	Для пользователя; Для администратора; Для программиста	Для программиста	Для пользователя; Для администратора; Для программиста	Для пользователя

Наличие аналитических инструментов – для проведения анализа и выявления поведения потребителей, их требований и ожиданий, CRM система должна давать возможность проводить анализ, ориентированный на каждого конкретного клиента (таблица 6).

Таблица 6

**Сравнение CRM-систем по критерию «Наличие аналитических инструментов»**

Table 6

**Comparison of CRM systems in terms of "Analytical tools"**

	Microsoft Dynamics CRM	Oracle Siebel CRM	1C:CRM ПРОФ 2.0	Sugar CRM	ELMA CRM	SAP CRM	Мегаплан
Наличие аналитических инструментов	+	+	+	+	+	+	+

Следующий критерий – работа через Интернет. В настоящее время очень важно, чтобы система поддерживала удаленный доступ пользователя к CRM-системе через Интернет. Такими современными средствами работы являются мобильные приложения, облачные технологии. Результаты сравнения представлены в таблице 8.

Таблица 8

**Сравнение CRM-систем по критерию «Работа через Интернет»**

Table 8

**Comparison of CRM systems in terms of "the Work on the Internet "**

	Microsoft Dynamics CRM	Oracle Siebel CRM	1C:CRM ПРОФ 2.0	Sugar CRM	ELMA CRM	SAP CRM	Мегаплан
Удаленный доступ	+	+	+	+	+	+	+
Мобильные приложения	Android iOS Windows	Android Symbian iOS Windows	Android iOS	Android iOS Windows	Др.	Android Symbian iOS Windows	Android iOS

	Microsoft Dynamics CRM	Oracle Siebel CRM	1C:CRM ПРОФ 2.0	Sugar CRM	ELMA CRM	SAP CRM	Мегаплан
Поддержка облачных технологий	+	+	+	+	-	+	+

На завершающем этапе выбора CRM-системы, на основании выбранных критериев, для сравнения отобранных ранее систем можно использовать метод анализа иерархий.

Метод Анализа Иерархий (МАИ, иногда МетАИЕ) — математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение (ЛПР), какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Этот метод разработан американским математиком Томасом Саати.

В результате использования представленного алгоритма выбора CRM-системы руководство организации получит конкретное обоснование для принятия решения.

#### Список литературы

1. Бояршинов, А.А. Потребность бизнеса в повышении лояльности клиентов [Электронный ресурс]/А.А. Бояршинов – Электрон. текст. дан. – СПб.: 2016. – Режим доступа: <http://www.marketing.spb.ru>, свободный.
2. Википедия [Электронный ресурс] – Электрон. энциклопедия – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма\\_деятельности](https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_деятельности), свободный.
3. Дойль, П. Маркетинговое управление и стратегии [Текст] / П. Дойль – СПб.: Питер, 2014. – 672 с.
4. Ефремова, Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный [Текст] / Т.Ф. Ефремова. – Москва: Русский язык, 2000. – 1233 с.
5. Зелинский, С.Э. Автоматизация управления предприятием [Текст]: учебное пособие / С.Э. Зелинский – К. Кондор, 2016. – 518 с.
6. Иган, Д. Маркетинг взаимоотношений. Анализ маркетинговых стратегий на основе взаимоотношений [Текст] / Д. Иган – Москва: Юнити, 2017. – 376 с.
7. Кораблев, О.В. Методология внедрения CRM-системы на предприятии [Текст] / О.В. Кораблев, Е.Б. Золотухина // Современные проблемы науки и образования – 2017. – №4.
8. Кудинов, А. Ключевые критерии выбора CRM-систем [Электронный ресурс] / А. Кудинов – Электрон. текст. дан. – Москва: 2015. – Режим доступа: <http://www.bgs-solutions.com.ua/statji/crm-key/>, свободный.
9. Практика CRM [Электронный ресурс] – Информационный портал – 2008-2017. – Режим доступа: <http://www.crm-practice.ru/>, свободный.
10. Третьяк, О.А. Маркетинг взаимоотношений: концепции, формирование и развитие [Электронный ресурс]/О.А. Третьяк – Электрон. Журн. – Москва: 2017. Режим доступа: [http://www.marketing.spb.ru/lib-mm/strategy/rm\\_theory.html](http://www.marketing.spb.ru/lib-mm/strategy/rm_theory.html), свободный.

#### References

1. Boyarshinov, A. A. business Need to increase customer loyalty [Electronic resource]/A. A. Boyarshinov – Electron. text. Dan. – SPb.: 2016. – Access mode: <http://www.marketing.spb.ru>, free.
2. Wikipedia [Electronic resource] – Electron. encyclopedia – available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма\\_деятельности](https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_деятельности) free.
3. Doyle, P. Marketing management and strategy [Text]/P. Doyle – SPb.: Peter, 2014. – 672.
4. Ephraim T. F. New dictionary of Russian language. Sensible-word-formation [Text] / T. F. Efremova – Moscow: Russian language, 2000. – 1233 S.

5. Zelinsky, S. E. automation of enterprise management [Text]: tutorial /S. C. Zelinsky – K. Condor, 2016. – 518 p.
6. Egan, J. relationship Marketing. Analysis of marketing strategies based on the relationship [Text]/ D. Egan – Moscow: unity, 2017. – 376 p.
7. Korablev O. V. Methodology of implementation CRM system in the enterprise [Text]/O. V. Korablev, E. B. Zolotukhin // Modern problems of science and education – 2017. – No. 4.
8. Kudinov, A. Key selection criteria CRM systems [Electronic resource]/A. Kudinov – Electron. text. Dan. – Moscow: 2015. – Mode of access: <http://www.bgs-solutions.com.ua/statji/crm-key/> free.
9. CRM Practice [Electronic resource] – Information portal, 2008-2017. – Mode of access: <http://www.crm-practice.ru/> free.
10. Tretyak, O. A., relationship Marketing: concept, formation and development [Electronic resource] / O.A. Tretyak – Electron. Sib. – Moscow: 2017. Mode of access: [http://www.marketing.spb.ru/lib-mm/strategy/rm\\_theory.html](http://www.marketing.spb.ru/lib-mm/strategy/rm_theory.html) free..1 Boyarshinov, A. A. business Need to increase customer loyalty [Electronic resource]/A. A. Boyarshinov – Electron. text. Dan. – SPb.: 2016. – Access mode: <http://www.marketing.spb.ru/> free.

**Чмирева Елена Владимировна**, кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Chmireva Elena**, Candidate of Economic Science, Senior Lecturer Department of applied Informatics and information technology

УДК 004.023

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-4-30-38

Бондаренко Ю.А.<sup>1</sup>  
Ломакин В.В.<sup>2</sup>  
Бестужева О.В.<sup>2</sup>

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦАПФЫ МЕЛЬНИЦЫ  
НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: kdsm2002@mail.ru, lomakin@bsu.edu.ru, bestuzheva.o@yandex.ru*

**Аннотация**

В данной статье представлен выбор параметров восстановления цапфы мельницы на основе метода анализа иерархий. Синтезированы критерии выбора оптимального решения и описана их взаимосвязь с параметрами обработки. Построено множество альтернатив решения многокритериальной задачи оптимизации, предложены способы обработки с варьируемыми геометрическими параметрами режущего инструмента и частоты вращения. На основании выбранных критериев найдено подмножество Парето-оптимальных параметров восстановления цапфы. Подтвержден многокритериальный метод принятия решения – метод анализа иерархий, применен алгоритм оценки и повышения степени согласованности матриц парных сравнений. Предложенный метод экспертной оценки позволяет осуществить выбор параметров обработки, понизить трудоемкость восстановительных работ при неизменном качестве восстановленной поверхности цапфы мельницы.

**Ключевые слова:** многокритериальная оптимизация; восстановление цапфы мельницы; метод анализа иерархий.

UDK 004.023

Bondarenko Ju.A.<sup>1</sup>  
Lomakin V.V.<sup>2</sup>  
Bestuzheva O.V.<sup>2</sup>

**THE CHOICE OF OPTIMAL PARAMETERS OF THE RESTORATION  
OF THE AXLE OF THE MILL BASED ON THE METHOD OF ANALYSIS  
OF HIERARCHIES**

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 46 Kostukova St., Belgorod, 308012, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: kdsm2002@mail.ru, lomakin@bsu.edu.ru, bestuzheva.o@yandex.ru*

**Abstract**

This article presents a range of recovery options axle of the mill based on the method of analysis of hierarchies. Synthesized criteria for optimal solutions and described their relationship to treatment parameters. Built many alternatives to solve multicriterial optimization problems, the proposed methods of processing with varying geometric parameters of the cutting tool and rotational speed. Based on the selected criteria found in the subset of Pareto-optimal recovery options axle. Confirmed method of multi-criteria decision-making method of hierarchy analysis, apply the algorithm to assess and improve the coherence matrix of pairwise comparisons. The proposed method of expert evaluation allows selection of processing parameters, to reduce the complexity of rehabilitation works, at a constant quality of the reconstructed surface of the trunnion of the mill.

**Keywords:** multicriterial optimization; the restoration of the axle of the mill; the method of analysis of hierarchies.

## **ВВЕДЕНИЕ**

При производстве строительных материалов для измельчения сырья применяют шаровые трубные мельницы, техническое состояние которых при длительной эксплуатации характеризуется значительным износом преимущественно механической части опорных вращающихся деталей – цапф. На рабочей поверхности цапфы возникают различные дефекты, что под действием динамических нагрузок приводит к потере работоспособности оборудования и способствует длительным простоям в ремонте.

Приставной станок позволяет производить обработку цапф помольных мельниц на месте эксплуатации. Для повышения эффективности производства, производительности технологического процесса, стойкости реза, условия возможности охлаждения инструмента, при этом обеспечения высоких показателей точности и качества обработанной поверхности выбран инструмент – ротационный резец. Определяющим параметром режима резания при ротационной обработке является частота вращения цапфы, от которой зависит скорость вращения заготовки, что повлияет и на время обработки цапфы и на стойкость инструмента. При этом возможность варьирования геометрических параметров реза: передний угол, углы установки и поворота реза, радиус режущей чаши реза – позволяет оптимизировать условия стружкообразования для достижения заданных точности и качества цилиндрической поверхности обработки и поддержания высокой работоспособности инструмента.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Задача многокритериальной оптимизации состоит в выборе оптимального решения одновременно по нескольким критериям из множества альтернатив – вариантов сочетаний параметров обработки. Для решения многокритериальной задачи параметрами оценки альтернатив являются следующие критерии: трудоемкость восстановительных работ, время обработки цапфы, износ инструмента, точность геометрических параметров и качество поверхности восстановленной цапфы.

Некоторые параметры и критерии связаны между собой математическими зависимостями, но определить взаимосвязь всех факторов является не выполнимой задачей, ввиду недостаточного количества данных и отсутствия возможности наблюдения результатов в процессе резания. Произведем анализ зависимости критериев от параметров обработки.

Каждый критерий характеризуется определенным параметром: время обработки – скоростью резания, зависящей от частоты вращения, износ инструмента – стойкостью ротационного реза, трудоемкость восстановительных работ характеризуется совместно двумя выше приведенными факторами, точность геометрических параметров – площадью срезаемого слоя, качество поверхности – шероховатостью.

При увеличении частоты вращения цапфы во время ремонта, время обработки уменьшается, но стойкость инструмента падает, что приводит к быстрому износу ротационного реза и плохому качеству обработанной поверхности. С другой стороны, уменьшение частоты вращения приведет к повышению трудоемкости восстановительных работ из-за низкой скорости резания.

Увеличение переднего угла, угла установки и угла поворота вокруг оси приводит к повышению точности геометрических параметров, но в этом случае страдает качество поверхности восстановленной цапфы. При этом радиус режущей чаши инструмента положительно влияет на качество восстановленной поверхности при увеличении, но точность обработанной поверхности снижается.

Первоначальным этапом для многокритериальной оптимизации является нахождение некоторого подмножества недоминируемых, то есть Парето-оптимальных альтернатив. Представлено множество способов обработки цапфы, варьируя геометрические параметры ротационного реза и частоту вращения (таблица 1). По средствам экспертной оценки



производится сужение альтернатив с учетом всех критериев. В результате из 25 способов обработки выделено подмножество Парето-оптимальных, которое включает 14 способов.

Таблица 1

**Характеристики параметров обработки при восстановлении цапфы**

Table 1

**Characteristics of the processing options when you repair the axle**

№ способа	Геометрические параметры резца				Частота вращения, об/мин	Парето-оптимальные варианты (+)
	Передний угол $\gamma, ^\circ$	Угол установки и $\omega, ^\circ$	Угол поворота резца вокруг оси $\varphi, ^\circ$	Радиус режущей чаши R, мм		
1	10 – 30	0 – 10	10 – 30	0 – 10	0 – 1	-
2	10 – 30	20 – 30	10 – 30	0 – 10	1 – 2	+
3	10 – 30	0 – 10	50 – 70	0 – 10	2 – 3	+
4	10 – 30	20 – 30	50 – 70	0 – 10	0 – 1	-
5	10 – 30	10 – 20	30 – 50	10 – 20	1 – 2	-
6	10 – 30	0 – 10	10 – 30	20 – 30	2 – 3	+
7	10 – 30	0 – 10	10 – 30	20 – 30	2 – 3	+
8	10 – 30	20 – 30	10 – 30	20 – 30	0 – 1	-
9	10 – 30	0 – 10	50 – 70	20 – 30	0 – 1	+
10	10 – 30	20 – 30	50 – 70	20 – 30	2 – 3	+
11	30 – 50	10 – 20	30 – 50	0 – 10	2 – 3	+
12	30 – 50	10 – 20	10 – 30	10 – 20	0 – 1	-
13	30 – 50	0 – 10	30 – 50	10 – 20	2 – 3	-
14	30 – 50	10 – 20	30 – 50	10 – 20	2 – 3	+
15	30 – 50	20 – 30	30 – 50	10 – 20	2 – 3	+
16	30 – 50	10 – 20	50 – 70	10 – 20	0 – 1	-
17	30 – 50	10 – 20	30 – 50	20 – 30	1 – 2	+
18	30 – 50	0 – 10	10 – 30	0 – 10	0 – 1	+
19	50 – 70	20 – 30	10 – 30	0 – 10	2 – 3	+
20	50 – 70	0 – 10	50 – 70	0 – 10	0 – 1	-
21	50 – 70	20 – 30	50 – 70	0 – 10	1 – 2	+
22	50 – 70	10 – 20	30 – 50	10 – 20	0 – 1	-
23	50 – 70	20 – 30	10 – 30	20 – 30	0 – 1	-
24	50 – 70	0 – 10	50 – 70	20 – 30	2 – 3	+
25	50 – 70	20 – 30	50 – 70	20 – 30	0 – 1	-

На следующем этапе решения многокритериальной задачи воспользуемся методом анализа иерархий. Методология его заключается в выборе единственной альтернативы, используя суждения эксперта. Результат обработки данных отображает приоритетность сравниваемых способов обработки. Процесс пошагового выбора оптимальных параметров обработки при восстановлении цапфы экспертом произведен в системе поддержки принятия решения – СППР «Решение».

Выбор единственного способа обработки цапфы из Парето-оптимального подмножества, на первом этапе реализуется структурированием проблемы в виде иерархии, включающая три уровня: 1 уровень – цель выбора (проблема), 2 уровень – уровень подцелей (критерии), 3 уровень – способы обработки (альтернативы). Иерархия представлена на рисунке 1.

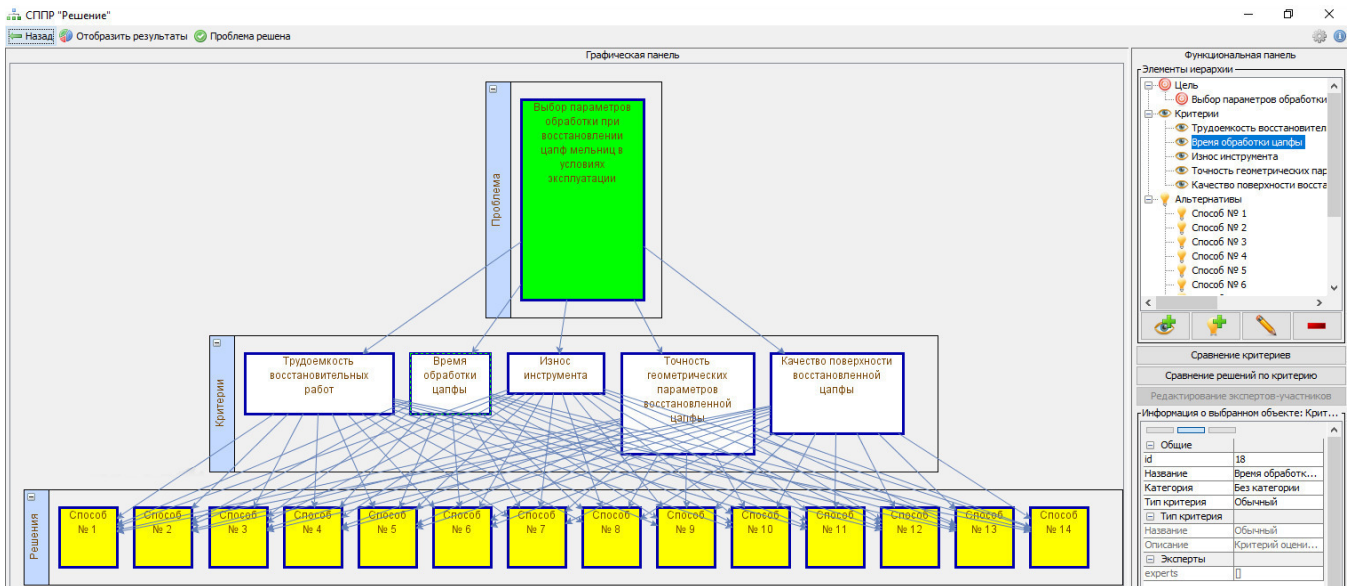


Рис. 1. Иерархия выбора параметров обработки при восстановлении цапфы  
Fig. 1. Hierarchy of the choice of treatment parameters of restoring the axle

Следующим этапом исследования методом парных сравнений, используя шкалу относительной важности, реализуется оценка альтернатив экспертом по каждому из критериев: трудоемкость восстановительных работ, время обработки цапфы, износ инструмента, точность геометрических параметров и качество поверхности восстановленной цапфы. Матрица сравнений альтернатив по отношению к критерию «Трудоемкость восстановительных работ», полученная на основании экспертных данных, представлена на рисунке 2.

При этом СППР «Решение» вычисляет значения приоритетов, степень заблуждения, индекс согласованности и значение отношения согласованности. По значению приоритета в 18,3 альтернатива «Способ № 2» превосходит остальные относительно трудоемкости восстановительных работ.

При этом значение отношения согласованности матрицы парных сравнений равно 5,5%, что не превышает рекомендуемое значение в 10 %. Анализируя представленные данные, можно сделать вывод о согласованности суждений эксперта и корректности результатов сравнения способов.

Аналогично построены матрицы сравнения альтернатив по остальным критериям (рис. 3-6), значения которых имеют высокую степень согласованности и дают непротиворечивую информацию.

Сравнение решений по критерию "Трудоемкость восстановительных работ"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/7	1/3	1/7	3	1/5	1/7	1/5	1/3	3	5	1/7	1/3	1/3	0,022
2. Способ № 2	7	1	5	2	7	1	3	2	5	7	7	3	5	5	0,183
3. Способ № 3	3	1/5	1	1/3	3	1/5	1/3	1/5	1	4	7	1/4	2	1	0,044
4. Способ № 4	7	1/2	3	1	5	1/3	1	1/2	3	5	7	3	5	2	0,107
5. Способ № 5	1/3	1/7	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1/5	1/3	2	3	1/5	1/3	1/5	0,019
6. Способ № 6	5	1	5	3	5	1	2	1	4	5	7	3	5	3	0,154
7. Способ № 7	7	1/3	3	1	3	1/2	1	1/3	2	5	5	1	3	3	0,087
8. Способ № 8	5	1/2	5	2	5	1	3	1	3	5	7	2	4	3	0,137
9. Способ № 9	3	1/5	1	1/3	3	1/4	1/2	1/3	1	3	5	1/5	3	1/2	0,044
10. Способ № 10	1/3	1/7	1/4	1/5	1/2	1/5	1/5	1/5	1/3	1	3	1/5	1/3	1/3	0,017
11. Способ № 11	1/5	1/7	1/7	1/7	1/3	1/7	1/5	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1/3	0,012
12. Способ № 12	7	1/3	4	1/3	5	1/3	1	1/2	5	5	5	1	3	2	0,088
13. Способ № 13	3	1/5	1/2	1/5	3	1/5	1/3	1/4	1/3	3	3	1/3	1	1/3	0,031
14. Способ № 14	3	1/5	1	1/2	5	1/3	1/3	1/3	2	3	3	1/2	3	1	0,053

СЗ:  ИС:  ОС:  F:

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Рис. 2. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Трудоемкость восстановительных работ»

Fig. 2. Matrix of pair comparisons of treatment parameters in relation to the criterion "The complexity of recovery work"

Сравнение решений по критерию "Время обработки цапфы"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/7	1/3	1/7	1/2	1/5	1/4	1/5	1/7	1/2	1	1/5	1/2	1/5	0,016
2. Способ № 2	7	1	3	1/2	5	2	5	3	3	5	5	2	3	2	0,148
3. Способ № 3	3	1/3	1	1/7	3	1/5	1/2	1/3	1/3	3	4	1/3	3	1/3	0,041
4. Способ № 4	7	2	7	1	5	2	5	3	3	5	5	2	3	2	0,174
5. Способ № 5	2	1/5	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1/5	1/4	1/2	1	1/5	1/2	1/5	0,020
6. Способ № 6	5	1/2	5	1/2	5	1	3	2	2	3	5	2	3	2	0,119
7. Способ № 7	4	1/5	2	1/5	3	1/3	1	1/3	1/2	2	5	1/3	3	1/3	0,048
8. Способ № 8	5	1/3	3	1/3	5	1/2	3	1	2	5	7	3	5	3	0,115
9. Способ № 9	7	1/3	3	1/3	4	1/2	2	1/2	1	3	5	1/2	2	1/2	0,069
10. Способ № 10	2	1/5	1/3	1/5	2	1/3	1/2	1/5	1/3	1	3	1/3	1/2	1/3	0,028
11. Способ № 11	1	1/5	1/4	1/5	1	1/5	1/5	1/7	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1/5	0,016
12. Способ № 12	5	1/2	3	1/2	5	1/2	3	1/3	2	3	5	1	3	1	0,087
13. Способ № 13	2	1/3	1/3	1/3	2	1/3	1/3	1/5	1/2	2	3	1/3	1	1/3	0,033
14. Способ № 14	5	1/2	3	1/2	5	1/2	3	1/3	2	3	5	1	3	1	0,087

СЗ:  ИС:  ОС:  F:

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Рис. 3. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Время обработки цапфы»

Fig. 3. Matrix of pairwise comparisons of treatment parameters in relation to the criterion of "Time of process axle"

Сравнение решений по критерию "Износ инструмента"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/2	7	7	5	5	1/2	5	5	7	1	1	1/3	5	0,112
2. Способ № 2	2	1	7	7	5	5	1	5	5	7	2	2	1	5	0,155
3. Способ № 3	1/7	1/7	1	1	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1/2	1/6	1/6	1/7	1/3	0,014
4. Способ № 4	1/7	1/7	1	1	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1/2	1/6	1/6	1/7	1/3	0,014
5. Способ № 5	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
6. Способ № 6	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
7. Способ № 7	2	1	7	7	5	5	1	5	5	7	2	2	1	5	0,155
8. Способ № 8	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
9. Способ № 9	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	3	1/4	1/4	1/5	1	0,033
10. Способ № 10	1/7	1/7	2	2	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1/7	1/2	0,017
11. Способ № 11	1	1/2	6	6	4	4	1/2	4	4	5	1	1	1/3	5	0,100
12. Способ № 12	1	1/2	6	6	4	4	1/2	4	4	5	1	1	1/3	5	0,100
13. Способ № 13	3	1	7	7	5	5	1	5	5	7	3	3	1	5	0,169
14. Способ № 14	1/5	1/5	3	3	1	1	1/5	1	1	2	1/5	1/5	1/5	1	0,031

СЗ: 14,550 ИС: 0,042 ОС: 0,027 F: 0,045

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 4. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Износ инструмента»

Fig. 4. Matrix of paired comparisons of treatment parameters in relation to the criterion of "Tool wear"

Сравнение решений по критерию "Точность геометрических параметров восстановленной цапфы"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/9	0,011
2. Способ № 2	5	1	5	1	3	3	3	3	1/5	1/3	1/5	1/5	1/7	1/5	0,039
3. Способ № 3	3	1/5	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/9	1/7	0,014
4. Способ № 4	5	1	5	1	3	3	3	3	1/4	1/3	1/4	1/4	1/7	1/5	0,041
5. Способ № 5	3	1/3	3	1/3	1	1	1	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/7	0,020
6. Способ № 6	3	1/3	3	1/3	1	1	1	3	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/7	0,022
7. Способ № 7	3	1/3	3	1/3	1	1	1	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/7	0,020
8. Способ № 8	3	1/3	1	1/3	1	1/3	1	1	1/5	1/5	1/7	1/7	1/7	1/5	0,018
9. Способ № 9	5	5	5	4	5	5	5	5	1	3	1/2	1/4	1/7	1/5	0,080
10. Способ № 10	5	3	5	3	5	5	5	5	1/3	1	1/4	1/5	1/5	1/5	0,062
11. Способ № 11	7	5	7	4	7	7	7	7	2	4	1	1/2	1/4	1/4	0,116
12. Способ № 12	7	5	7	4	7	7	7	7	4	5	2	1	1/4	1/2	0,144
13. Способ № 13	9	7	9	7	7	7	7	7	7	5	4	4	1	2	0,233
14. Способ № 14	9	5	7	5	7	7	7	5	5	5	4	2	1/2	1	0,180

СЗ: 15,919 ИС: 0,148 ОС: 0,096 F: 0,111

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 5. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Точность геометрических параметров восстановленной цапфы»

Fig. 5. Matrix of pairwise comparisons of treatment parameters in relation to the criterion "Accuracy of the geometric parameters of the restored axle"

Сравнение решений по критерию "Качество поверхности восстановленной цапфы"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	Приоритеты
1. Способ № 1	1	1/7	5	5	3	3	1/5	3	3	5	2	1	1/5	3	0,075
2. Способ № 2	7	1	7	7	5	5	1/2	5	5	7	3	3	1/2	5	0,163
3. Способ № 3	1/5	1/7	1	1	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	1/7	1/5	0,012
4. Способ № 4	1/5	1/7	1	1	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	1/7	1/5	0,012
5. Способ № 5	1/3	1/5	5	5	1	1/2	1/5	2	2	5	1/3	1/3	1/5	1	0,041
6. Способ № 6	1/3	1/5	5	5	2	1	1/5	2	2	5	1/3	1/3	1/5	1	0,045
7. Способ № 7	5	2	7	7	5	5	1	4	4	5	3	3	1/2	4	0,163
8. Способ № 8	1/3	1/5	5	5	1/2	1/2	1/4	1	1	3	1/3	1/3	1/5	1/2	0,033
9. Способ № 9	1/3	1/5	5	5	1/2	1/2	1/4	1	1	3	1/3	1/3	1/5	1/2	0,033
10. Способ № 10	1/5	1/7	3	3	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1/5	1/7	1/4	0,017
11. Способ № 11	1/2	1/3	5	5	3	3	1/3	3	3	5	1	1	1/5	3	0,075
12. Способ № 12	1	1/3	5	5	3	3	1/3	3	3	5	1	1	1/5	3	0,079
13. Способ № 13	5	2	7	7	5	5	2	5	5	7	5	5	1	5	0,208
14. Способ № 14	1/3	1/5	5	5	1	1	1/4	2	2	4	1/3	1/3	1/5	1	0,043

СЗ: 15,534 ИС: 0,118 ОС: 0,077 F: 0,090

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 6. Матрица парных сравнений параметров обработки по отношению к критерию «Качество поверхности восстановленной цапфы»

Fig. 6. Matrix of pairwise comparisons of treatment parameters in relation to the criterion "Quality of the restored surface of the axle"

Далее тем же методом строится матрица парных сравнений критериев. В данном случае, эксперт принимает решение приоритетности в пользу трудоемкости восстановительных работ, не пренебрегая при этом качеством поверхности цапфы (рисунок 7).

Сравнение критериев

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Трудоемкость восстановительных работ	1	3	5	3	3	0,428
2. Время обработки цапфы	1/3	1	3	3	1/3	0,160
3. Износ инструмента	1/5	1/3	1	1/3	1/3	0,060
4. Точность геометрических параметров восстановленной цапфы	1/3	1/3	3	1	1/3	0,103
5. Качество поверхности восстановленной цапфы	1/3	3	3	3	1	0,249

СЗ: 5,382 ИС: 0,096 ОС: 0,089 F: 0,082

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK Cancel Корректировка

Рис. 7. Матрица парных сравнений критериев

Fig. 7. Matrix of pairwise comparisons of criteria

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результатом проведенных оценок альтернатив является расчет рационального способа обработки (рисунок 8). Согласно методу анализа иерархий, оптимальным способом обработки при восстановлении цапф является «Способ № 2», значение приоритета 15,6 %. Параметры обработки характеризуются следующими значениями: передний угол варьируется в пределах 10-30°, угол

установки – в пределах 20-30°, угол поворота вокруг оси резца – 10-30°, радиус режущей чаши – 0-10 мм, частота вращения – от 1 до 2 оборотов в минуту.

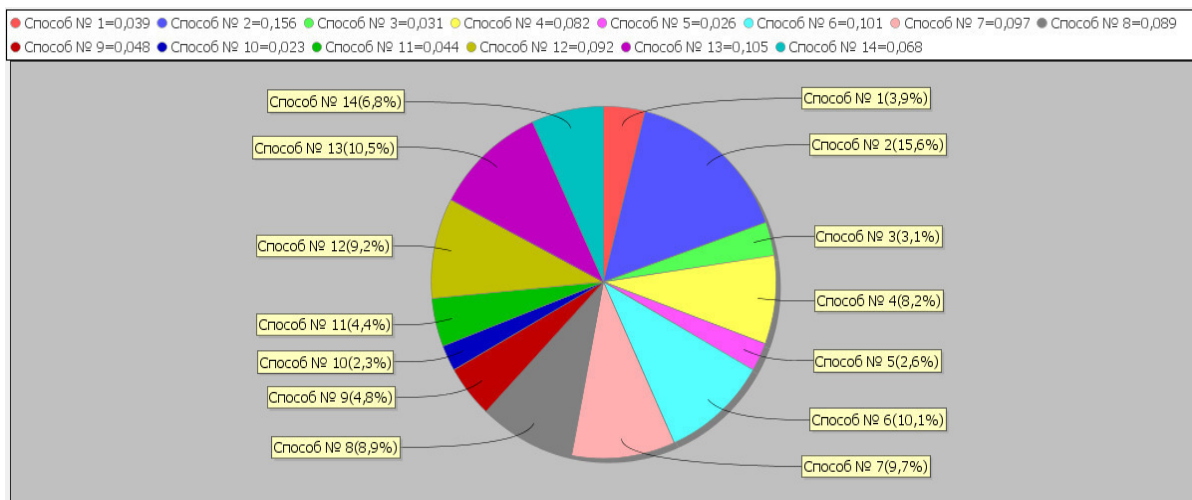


Рис. 8. Диаграмма результатов расчетов приоритетов способов обработки при восстановлении цапфы

Fig. 8. Diagram of calculation results of the priorities, methods of processing of restoring the axle

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подтвержден многокритериальный метод принятия решения – метод анализа иерархий, применен алгоритм оценки и повышения степени согласованности матриц парных сравнений. Предложенный метод экспертной оценки позволяет осуществить выбор параметров обработки, понизить трудоемкость восстановительных работ при неизменном качестве восстановленной поверхности цапфы мельницы.

### Список литературы

1. Lomakin V.V., Afonin A.N., Reznichenko T.A. Smart means for the estimation and selection of efficient subtractive machining strategies // Jr. of Industrial Pollution Control. 2017. № 33(1). PP. 981-987.
2. Бестужева О.В., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А. Экспериментальное исследование восстановления поверхности вращения крупногабаритных деталей промышленного оборудования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 122-127.
3. Исследование зависимости площади среза от технологических параметров и режимов ротационной обработки крупногабаритной детали / Маркова О.В., Федоренко М.А., Бондаренко Ю.А., Санина Т.М. // Технология машиностроения. 2016. № 5. С. 14-20.
4. Ломакин В.В., Лифиренко М.В. Алгоритм повышения степени согласованности матрицы парных сравнений при проведении экспертных опросов // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 1798 – 1803.
5. Ломакин В.В., Лифиренко М.В., Асадуллаев Р.Г. Комплекс критериев и алгоритмическое обеспечение процесса принятия решений при создании систем управления наружным освещением // Фундаментальные исследования: научный журнал. 2014. №11. С. 2370-2374.
6. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 176 с.
7. Принятие решений при выборе структурно-компоновочной схемы оборудования для субтрактивной обработки с нанометровой точностью / Ломакин В.В., Афонин А.Н., Асадуллаев Р.Г., Лифиренко М.В. // Научные ведомости. Серия Экономика. Информатика. 2015. № 7. С. 175-182.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

10. Ящерицын П.И., Дривотин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. М.: Наука и техника, 1987. 228 с.

### References

1. Lomakin V. V., Afonin A. N., Reznichenko T. A. Smart means for the estimation and selection of efficient subtractive machining strategies // Jr. of Industrial Pollution Control. 2017. No. 33(1). PP. 981-987.
2. Bestuzhev O. V., Fedorenko M. A., Bondarenko Y. A. Experimental study of the recovery of a surface of revolution of large parts of industrial equipment // Vestnik BGTU after V. G. Shukhov. 2016. No. 11. PP. 122-127.
3. The dependence of the area of the slice from the technological parameters and modes for the rotary machining of large parts / Markova O. V., Fedorenko M. A., Bondarenko Y. A., Sanina T. M. // Technology of mechanical engineering. 2016. No. 5. PP. 14-20.
4. Lomakin V. V., Lifirenko M.V. An algorithm to increase the degree of consistency of the pairwise comparison matrix when conducting expert interviews // Fundamental research. 2013. No. 11. PP .1798 – 1803.
5. Lomakin V. V., Lifirenko M.V., Ibrahimov, R.G. Complex criteria and algorithmic support of decision-making at creation of control systems for external lighting // Fundamental research: the scientific journal. 2014. No. 11. PP. 2370-2374.
6. Nogin V. D. decision Making in multicriteria environment: a quantitative approach. M.: FIZMATLIT, 2002. 176 p.
7. Decisions when choosing structurally-layout scheme of the equipment for subtractive processing with nanometer precision / Lomakin V.V., Afonin A.N., Asadullayev R.G., Lifirenko M.V. // Scientific Bulletin. The Economic Series. Informatics. 2015. No. 7. PP. 175-182.
8. Saati T. Decision-Making. Method of analysis of hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. 278 p.
9. Saati T., Kerns K. Analytical planning. The organization systems. M.: Radio and communication, 1991. 224 p.
10. Yastcheritsyn P.I., Drivotin I.G., Lebedev V.Ya. Rotary cutting of materials. M.: Nauka I Tekhnika, 1987. 228 p.

**Бондаренко Юлия Анатольевна**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии машиностроения

**Ломакин Владимир Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий

**Бестужева Ольга Васильевна**, магистрант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Bondarenko Julia Anatolyevna**, doctor of technical sciences, docent, professor of the Department of mechanical engineering

**Lomakin Vladimir Vasilyevich**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of applied informatics and information technologies

**Bestuzheva Olga Vasilievna**, master student of the Department of applied informatics and information technologies

УДК 336.581

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-4-39-49

Глазунова О.А.<sup>1</sup>  
Сорокина Е.С.<sup>2</sup>  
Чмирева Е.В.<sup>2</sup>

**ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПРИОРИТЕТНОСТИ ВЫБОРА ПОСТАВЩИКА  
НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

*e-mail: inn200479@mail.ru, sorokina\_e@bsu.edu.ru, chmireva@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

На сегодняшний день все большее распространение получают информационные технологии. В статье рассматриваются вопросы выбора поставщика с использованием ранжирования на базе метода анализа иерархических структур. Целью подобного описания является повышение степени объективности принимаемых решений при отборе выбора поставщика путем разработки инструментальных средств формализованной оценки суждений экспертов. Исследована информационно-управляющая система предприятия как объект для применения СППР. Выбор в качестве средства реализации СППР «Решение» обоснован тем, что данная система имеет удобный и адаптированный для конечного пользователя интерфейс, располагает всеми необходимыми средствами реализации и не требует дополнительных финансовых вложений в разрабатываемую систему поддержки принятия управленческих решений. Из предложенных альтернатив по заданным критериям выбран наиболее рациональный поставщик для организации. Предложенные критерии и альтернативы представлены в виде иерархии.

**Ключевые слова:** экспертная оценка; анализ иерархий; матрица парных сравнений.

UDC 336.581

Glazunova O.A.<sup>1</sup>  
Sorokina E.S.<sup>2</sup>  
Chmireva E.V.<sup>2</sup>

**EXPERT EVALUATION OF THE PRIORITY OF THE SELECTION  
OF THE SUPPLIER BASED ON THE METHOD OF ANALYSIS  
OF HIERARCHIES**

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 46 Kostukova St., Belgorod, 308012, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

*e-mail: inn200479@mail.ru, sorokina\_e@bsu.edu.ru, chmireva@bsu.edu.ru*

**Abstract**

To date, information technology is becoming increasingly widespread. The article deals with the selection of a supplier using the ranking based on the method of analysis of hierarchical structures. The purpose of such a description is to increase the degree of objectivity of decisions taken when selecting the supplier's choice by developing tools for a formal assessment of the judgments of experts. The information-management system of the enterprise as an object for the application of the DSSR is investigated. The choice as a means of implementing the DSS "Solution" is justified by the fact that the system has a convenient and adapted interface for the end user, has all the necessary means of implementation and does not require additional financial investments in the developed system of support for making managerial decisions. From the proposed alternatives, the most rational supplier for the organization was selected by the set criteria. The proposed criteria and alternatives are presented in the form of a hierarchy.

**Keywords:** expert evaluation; analysis of hierarchies; matrix of paired comparisons.



Метод анализа иерархий представляет собой математический инструмент, применяемый для поддержки принятия решений. Универсальность данного метода позволяет использовать его для выбора оптимального решения самых разнообразных проблем, которые могут быть представлены в виде некоторой иерархии.

Метод анализа иерархий состоит из следующих основных этапов:

1. Постановка задачи и ее представление в виде иерархии, включающей в себя задачу, альтернативы решения задачи, критерии оценки альтернатив.
2. Оценка исходной информации путем реализации процедур попарного сравнения элементов рассматриваемой иерархии, осуществляется ЛПР.
3. Обработка результатов попарного сравнения элементов, в том числе оценка непротиворечивости полученных результатов и выбор наилучшей альтернативы исходя из рассчитанных весомостей альтернатив решения поставленной проблемы.

Метод анализа иерархий отражает естественный ход мышления человека, что способствует адекватному и полному выявлению предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), а наличие методов выявления противоречий в суждениях эксперта, позволяет повысить качество получаемых результатов.

Одним из программных решений, реализующих в своей работе метод анализа иерархий, является СППР «Решение». Программа позволяет структурировать рассматриваемую задачу, задать набор альтернатив для ее решения, выделить характеризующие их факторы, установить весомости этих факторов, оценить альтернативы по всем заданным факторам, выявить противоречивости в суждениях эксперта, проранжировать альтернативы и проанализировать полученные решения.

В данной статье рассматривается задача выбора наиболее подходящего поставщика для организации. Выбранные альтернативы решения задачи будут оцениваться с помощью показателей, характеризующих поставщика с точки зрения выгодности и рациональности сотрудничества с ним, состава и качества оказываемых услуг, а также их стоимости.

Первым этапом решения проблемы является ее представление в виде иерархии, содержащей постановку задачи, критерии для оценки альтернатив и сами альтернативы решения задачи, из которых в дальнейшем осуществляется выбор (рис. 1).

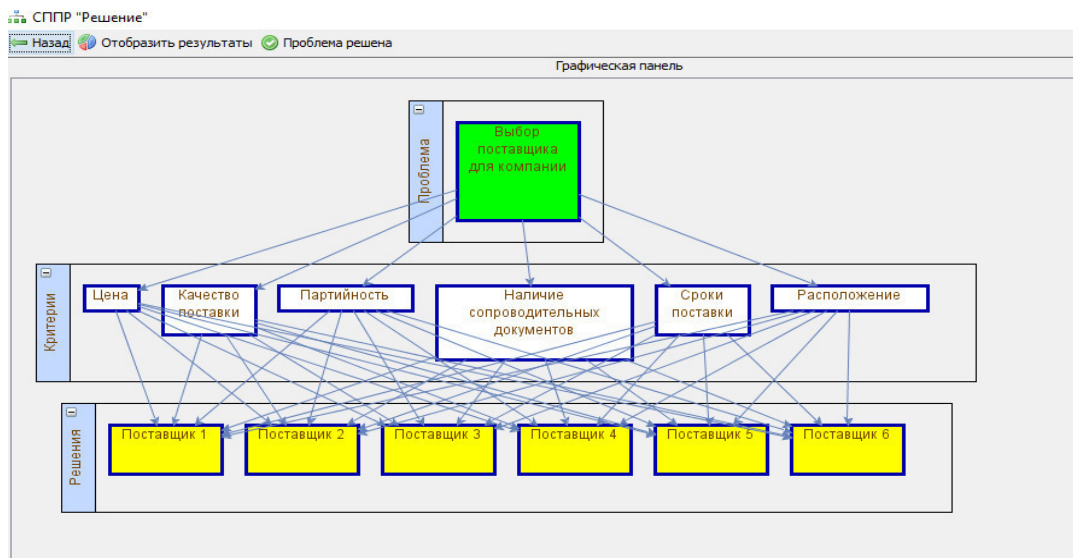


Рис. 1. Иерархия для оценки выбора поставщиков  
Fig.1. Hierarchy for evaluating the choice of suppliers

Выделяемые критерии должны быть общими и измеримыми для всех альтернатив, они также должны быть простыми и не избыточными, то есть не должны учитывать один и тот же аспект. Количество критериев в задаче должно быть минимальным, но в то же время полным.

Как видно из рисунка 1 выбор поставщика будет осуществляться из 6 возможных вариантов, которые будут оцениваться по следующим критериям:

- Цена;
- Качество поставки;
- Партийность;
- Наличие сопроводительных документов;
- Сроки поставки;
- Расположение.

Следующим этапом является осуществление попарного сравнения элементов иерархии. Сравнение осуществляется исходя из суждений лица, принимающего решения, о предпочтительности одних элементов перед другими. При этом при проведении попарных сравнений в основном ставятся следующие вопросы при сравнении двух элементов: какой из них важнее или имеет большее воздействие, какой из них предпочтительнее, какой из них наиболее вероятен. Суждения ЛПР основываются на его системе предпочтений, складывающейся из множества различных факторов, таких как, например, его понимание проблемы, наличие ограничений, юридические, экономические, социальные, психологические факторы.

Матрица сравнения критериев представлена на рисунке 2.

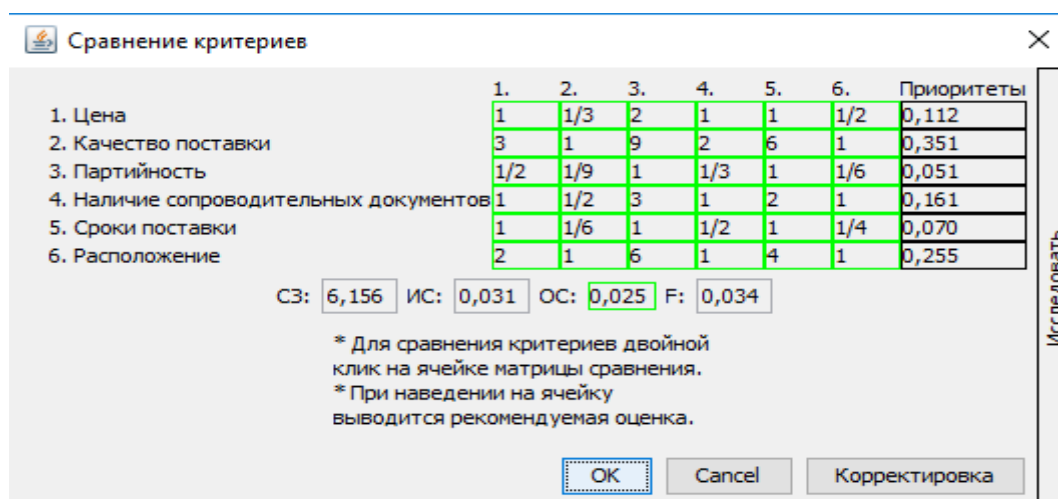


Рис. 2. Сравнение критериев

Fig. 2. Comparison of the criteria

Матрица заполняется количественными значениями интенсивности проявления одного элемента иерархии относительно другого элемента, оцениваемых по шкале интенсивности от 1 до 9, где оценки означают следующее:

- равная важность – 1;
- умеренное превосходство – 3;
- значительное превосходство – 5;
- сильное превосходство – 7;
- очень сильное превосходство – 9;
- в промежуточных случаях ставятся четные оценки: 2, 4, 6, 8 (например, 4 – между умеренным и значительным превосходством).

Наиболее важные критерии имеют больше целочисленных оценок в соответствующих строках матрицы, а сами оценки имеют большие значения. Так, исходя из данных на рисунке 2,

критерий «Качество поставки» имеет наибольший приоритет среди всех представленных критериев, а критерий «Партийность» наоборот имеет наименьший вес в решении задачи выбора альтернатив.

На данном этапе также определяется индекс согласованности (ИС) суждений эксперта, показывающий насколько введенные экспертом данные непротиворечивы. ИС определяется по следующей формуле:

$$ИС = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимальное собственное значение (СЗ),

$n$  – размерность матрицы, в данном случае равна 6.

Расчет максимального собственного значения  $\lambda_{\max}$  осуществляется по матрице парных сравнений следующим образом: суммируется каждый столбец суждений, затем сумма первого умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов, сумма второго столбца – на вторую компоненту и т.д., затем полученные числа суммируются. ИС в рассматриваемой задаче равен 0,031.

Отношение согласованности рассчитывается как  $ОС = (ИС/СИ) * 100\%$ . Отношение согласованности в рассматриваемой задаче равно 2,5%, что является допустимым показателем (если ОС больше 10% необходим пересмотр суждений).

На следующем этапе были составлены матрицы парных сравнений альтернатив по всем критериям. Сравнение решений по критериям «Цена», «Качество поставки», «Партийность», «Наличие сопроводительных документов», «Сроки поставки», «Расположение» представлены на рисунках 3-8.

Сравнение решений по критерию "Цена"

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Приоритеты
1. Поставщик 1	1	1	1/3	2	1	2	0,138
2. Поставщик 2	1	1	1/2	2	1	2	0,148
3. Поставщик 3	3	2	1	7	5	9	0,464
4. Поставщик 4	1/2	1/2	1/7	1	1	1	0,076
5. Поставщик 5	1	1	1/5	1	1	1	0,101
6. Поставщик 6	1/2	1/2	1/9	1	1	1	0,073

СЗ: 6,151    ИС: 0,030    ОС: 0,025    F: 0,031

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK    Cancel    Корректировка

Рис. 3. Сравнение решений по критерию «Цена»  
Fig. 3. Comparison of solutions by the criterion «Price»

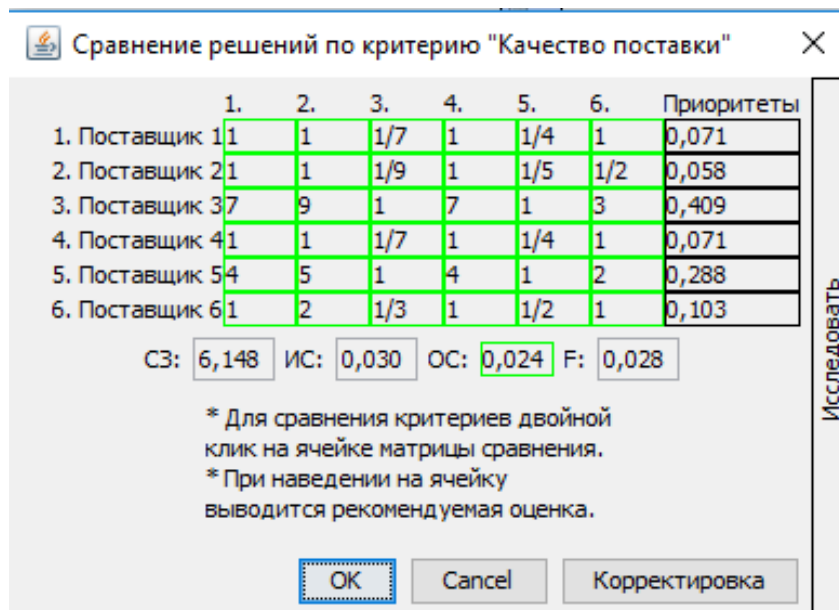


Рис. 4. Сравнение решений по критерию «Качество поставки»  
Fig. 4. Comparison of decisions on the criterion «Quality of delivery»

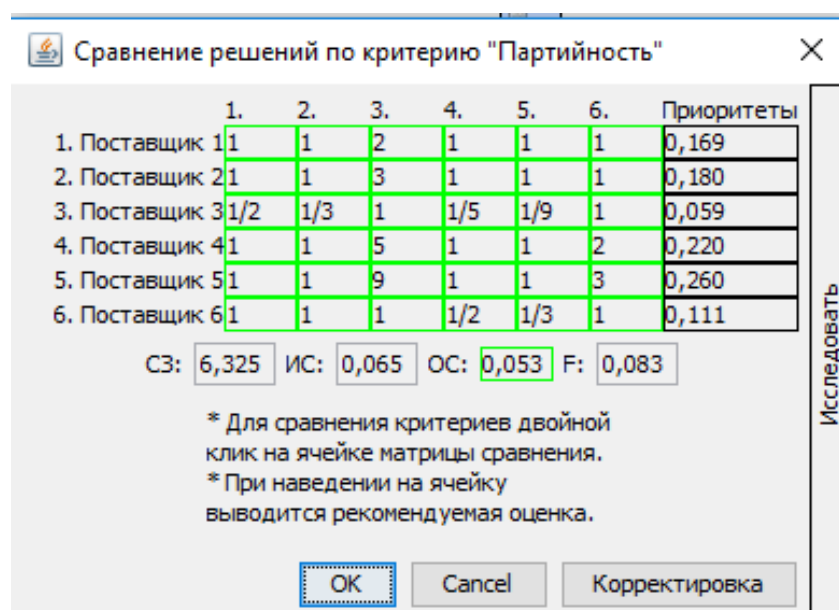


Рис. 5. Сравнение решений по критерию «Партийность»  
Fig. 5. Comparison of decisions on the criterion of «Partyism»

При сравнении решений по критериям также контролируется согласованность суждений, которая не должна быть больше 0,1. Несогласованность суждений может возникать вследствие ошибок эксперта, некорректно поставленных вопросов или недостаточного количества информации, при этом при возникновении несогласованности нет возможности определить именно те вопросы, которые ее вызвали.

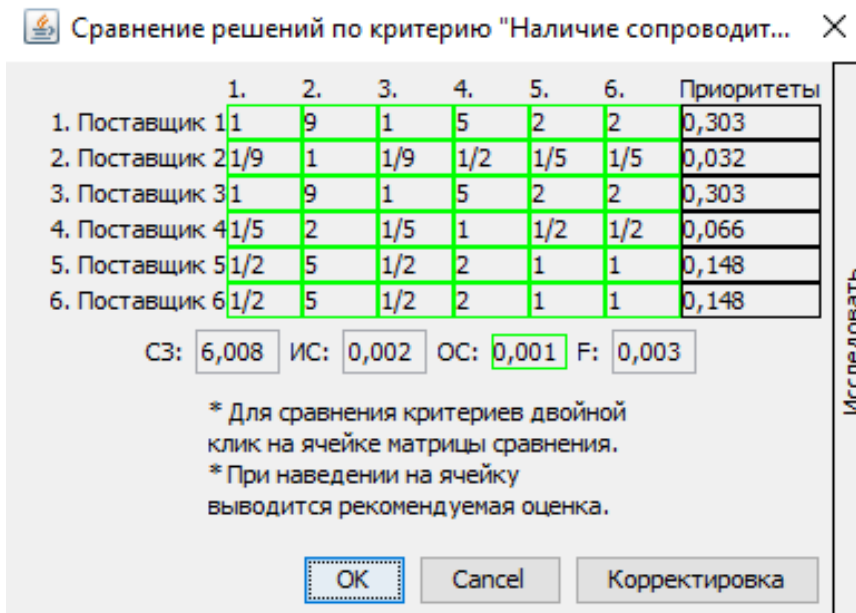


Рис. 6. Сравнение решений по критерию «Наличие сопроводительных документов»  
Fig. 6. Comparison of decisions on the criterion «Availability of accompanying documents»

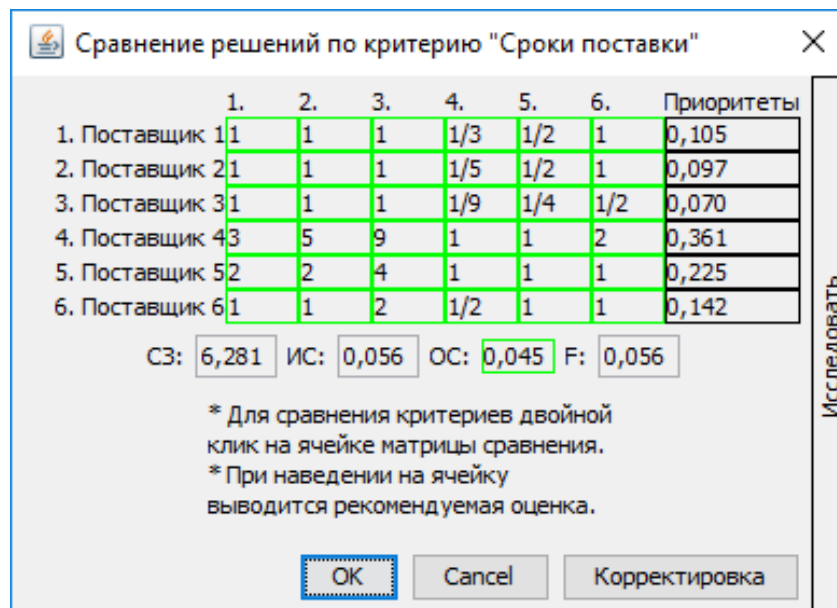


Рис. 7. Сравнение решений по критерию «Сроки поставки»  
Fig. 7. Comparison of decisions on the criterion «Delivery terms»

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Приоритеты
1. Поставщик 1	1	2	1	9	3	1	0,297
2. Поставщик 2	1/2	1	1	1	1	1	0,136
3. Поставщик 3	1	1	1	1	1	1	0,153
4. Поставщик 4	1/9	1	1	1	1	1/4	0,084
5. Поставщик 5	1/3	1	1	1	1	1/2	0,113
6. Поставщик 6	1	1	1	4	2	1	0,216

СЗ: 6,521    ИС: 0,104    ОС: 0,084    F: 0,109

\* Для сравнения критериев двойной клик на ячейке матрицы сравнения.  
\* При наведении на ячейку выводится рекомендуемая оценка.

Исследовать

OK    Cancel    Корректировка

Рис. 8. Сравнение решений по критерию «Расположение»

Fig. 8. Comparison of solutions by the «Location" criterion»

По результатам сравнения решений по каждому критерию в программе выставляются приоритеты, показывающие поставщика, который лидирует по определенному критерию. Так по критерию «Цена» (см. рис. 3) и «Качество поставки» (см. рис. 4) наибольший приоритет имеет поставщик 3, а по «Срокам поставки» (см. рис. 7) лидирует поставщик 4.

Далее представлен отчет по решению проблемы «Выбор поставщика для организации». На рисунке 9 представлены критерии оценки альтернатив по приоритетности.

Отчет по решению проблемы "Выбор поставщика для компании"	
Отчет сгенерирован Tue Jun 06 20:44:13 MSD 2017. Метод расчета: Метод анализа иерархий	
Критерий оценки	Приоритет
Цена	0.11151719499242395
Качество поставки	0.35098310729124343
Партийность	0.05110199766367912
Наличие сопроводительных документов	0.1608356265597109
Сроки поставки	0.07025143069809303
Расположение	0.25531064279484955

Рис. 9. Приоритетность критериев оценки альтернатив

Fig. 9. Priority of the criteria for evaluating alternatives

Согласно данным рисунка 9 наиболее весомым является критерий «Качество поставки», его приоритетность оценивается как 0,35.

На рисунке 10 представлена матрица сравнения критериев, являющаяся результатом попарного сравнения критериев оценки альтернатив поставщиков по их важности по девятибалльной шкале. Для каждого критерия определен приоритет, показывающий его значимость среди других критериев.

Матрица сравнения критериев							
Критерий:	Цена	Качество поставки	Партийность	Наличие сопроводительных документов	Сроки поставки	Расположение	Приоритет:
Цена	1	1/3	2	1	1	1/2	0,112
Качество поставки	3	1	9	2	6	1	0,351
Партийность	1/2	1/9	1	1/3	1	1/6	0,051
Наличие сопроводительных документов	1	1/2	3	1	2	1	0,161
Сроки поставки	1	1/6	1	1/2	1	1/4	0,070
Расположение	2	1	6	1	4	1	0,255

*Рис. 10. Матрица сравнения критериев  
Fig. 10. Criteria comparison matrix*

По результатам оценки альтернатив по каждому из критериев определен общий результат, выражающийся в количественной оценке приоритетности выбора каждого из поставщика. Варианты решения проблемы по приоритетности выбора поставщика представлен на рисунке 11.

Вариант решения проблемы	Приоритет
Поставщик 1	0.18087474719943375
Поставщик 2	0.09291305305845722
Поставщик 3	0.2909920519802081
Поставщик 4	0.10209606315158472
Поставщик 5	0.19420362331568403
Поставщик 6	0.13892046129463215

Наилучшая альтернатива:

Поставщик 3

*Рис. 11. Варианты решения проблемы по приоритетности  
Fig. 11. Options for addressing the priority issue*

Таким образом, наиболее приоритетным является поставщик №3, так как количественная оценка его приоритетности составила 0,29. Предлагаемый вариант решения задачи выбора поставщика по выбранным критериям и среди представленных альтернатив является наиболее подходящим для организации.

Более наглядно результаты исследования представлены на рисунке 12. Приоритетность альтернативы «Поставщик 3» среди всех других составляет 29,1%.

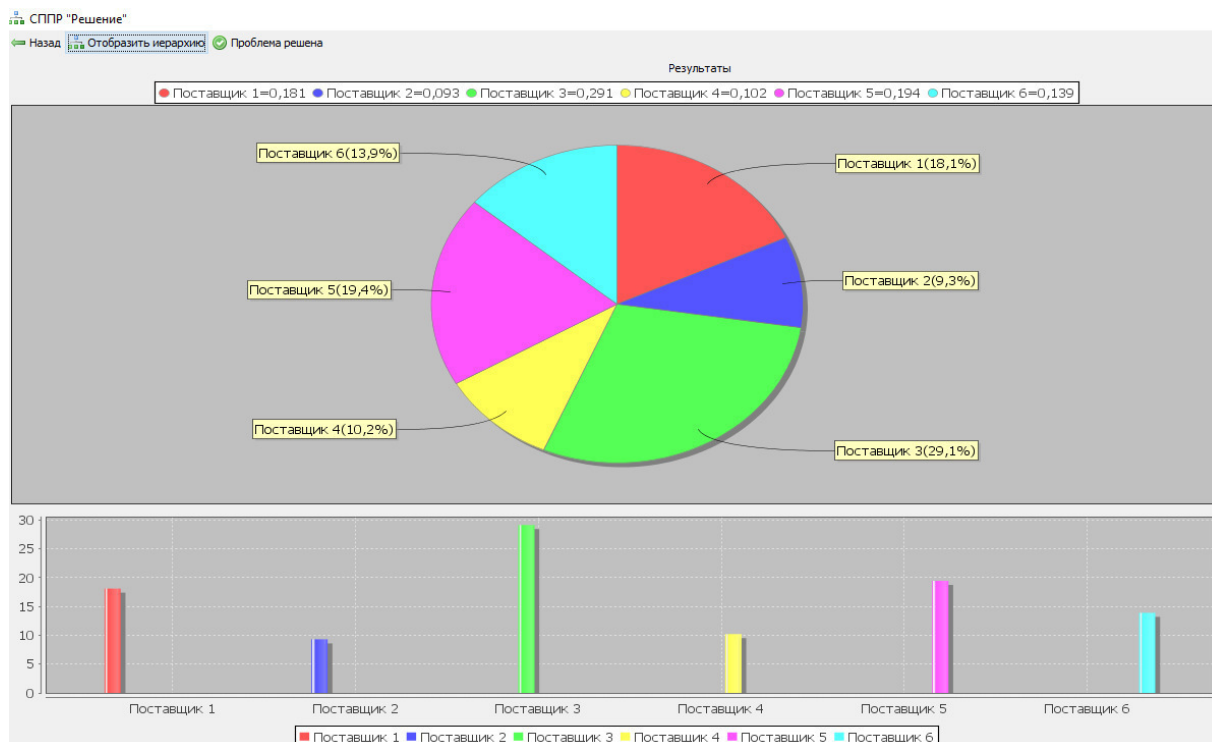


Рис. 12. Результаты оценки критериев в СППР «Решение»  
Fig. 12. Results of the evaluation of the criteria in the DSS «Decision»

Таким образом, с помощью СППР «Решение», реализующей метод анализа иерархий, была решена задача выбора решения в условиях неопределенности. Особенность задачи по выбору поставщика для организации состояла в том, что критерии выбора не могли быть выражены в количественной форме, такая задача относится к классу слабо структурированных задач. Для решения осуществлялся сбор необходимой информации, ее структурирование в виде иерархии, обработка данных путем попарного сравнения критериев и альтернатив, на основе полученных данных был сделан вывод о наиболее предпочтительной альтернативе решения задачи. Достоверность полученного результата подтверждается определением на каждом этапе индекса согласованности, являющегося показателем непротиворечивости данных.

В работе были исследованы вопросы применения систем поддержки принятия решений и метода анализа иерархий для решения задач, возникающих на предприятии и оказывающих влияние на эффективность его работы.

Выбор поставщика – это задача, которая рано или поздно возникает практически в каждой организации. На примере этой задачи из предложенных альтернатив по заданным критериям был произведен выбор наиболее подходящего варианта. Решение данной задачи показывает, что любая сложная задача может быть декомпозирована и представлена в виде иерархической системы, а качественные показатели на любом уровне иерархии могут быть преобразованы в объективные количественные соотношения.

Наиболее оптимально применение метода анализа иерархий в многокритериальных задачах, где принятие решения зависит от нескольких критериев одновременно, но, как правило, количество сравниваемых объектов не превышает семи.

В результате исследования представлена модель выбора приоритетного поставщика для организации, построены таблицы сравнений важности критериев, матрицы парных сравнений критериев и альтернатив по предложенным критериям, таблица полезности альтернатив.



### Список литературы

1. Кочкина М.В., Карамышев А.Н., Махмутов И.И., Федоров Д.Ф. Анализ многокритериальных методов выбора поставщиков [Текст] / Экономика и предпринимательство. – Москва, 2017. – С.837-843.
2. Белявский Р.Ю. Система поддержки принятия решений позволяющая определить наилучшего поставщика [Текст] / Информационные технологии в науке и производстве. – Омск, 2016. – С.77-80.
3. Блюмин С.Д., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности [Текст]. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
4. Бородаева М.Г., Вирченко Р.Р., Борисова Л.В. О весомости критериев при выборе поставщиков / [Текст] / Символ науки. – Уфа, 2016. – С.33-35.
5. Бутусов О.Б. Дубин М.Е. Система поддержки принятия решений для выбора поставщика в цепи поставок [Текст] / Известия Московского Государственного технического университета МАМИ. – Москва, 2013. – С.268-271.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 105 с.
7. Демидов, Н.Е. Математические модели и методы анализа иерархий в системах обеспечения информационной безопасности дисс. на соиск. учен.степ. канд. техн. наук (05.13.01) / Демидов Николай Евгеньевич. Тверь, 2004.
8. Завьялов Ф.Н., Перепелица А.Г. Обзор и сравнительная характеристика методов и критериев выбора поставщика в цепях поставок [Текст] / Сборник материалов шестой региональной научной конференции студентов и аспирантов, 2015. – С.310-317.
9. Мальцева М.В. Использование метода анализа иерархий в задачах выбора приоритетов [Текст] / Вестник Иркутского государственного технического университета. – Иркутск, 2008. – С. 141-144.
10. Ногин, В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев [Текст] / Вычислительная математика и математическая физика. – Москва, 2004. №7 (Том 44). – С.1261-1270.
11. Огурцов, А.Н. Алгоритм повышения согласованности экспертных оценок в методе анализа иерархий [Текст] / Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – Иваново, 2013. – №5. – С.81-84.
12. Орлов, А.И. Теория принятия решений, учеб. пособие [Текст]. – Москва: Издательство «Март», 2004. – 656 с.
13. Петровский, А.Б. Теория принятия решений [Текст]. Москва: Издательский центр «Академия», 2009.
14. Полоскова М.И. Основные задачи при выборе потенциального поставщика [Текст] / Экономика и бизнес: теория и практика. – Новосибирск, 2016. – С.134-135.
15. Реутова П.В. Применение метода анализа иерархий для решения задачи выбора поставщика [Текст] / Евразийское научное объединение. – Издательство: Орлов Максим Юрьевич, 2017. – С.139-145.
16. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
17. Силич М.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие [Текст] / М.П. Силич, В.А. Силич. – Москва: ТУСУР, 2011. – 276 с.
18. Тутьгин А.Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. Естественные и точные науки. – Санкт-Петербург, 2010. – № 122.
19. Харитонов Е.В. Согласование исходной субъективной информации в методах анализа иерархи // Математическая морфология: электронный математический и медико-биологический журнал. – Смоленск, 2010. – С.41-51.
20. Чуланова Г.Ю. Использование метода аналитической иерархической процедуры (МАИ) для выбора поставщика // Инновации. – Санкт-Петербург, 2013. – С.22-126.

### References

1. Kochkin M.V., Karamyshev A.N., Makhmutov I.I., Fedorov D.F. Analysis of multi-criteria methods for selecting suppliers [Text] / Economics and Entrepreneurship. – Moscow, 2017. – P. 837-843.
2. Belyavsky R.Yu. Decision Support System allowing to determine the best supplier [Text] / Information Technologies in Science and Production. – Omsk, 2016. – P. 77-80.
3. Blyumin S.D., Shuykova I.A. Models and methods of decision-making in conditions of uncertainty [Text]. – Lipetsk: LEGI, 2001. – 138 p.

4. Borodaeva M.G., Virchenko R.R., Borisova L.V. On the weighting of criteria in the selection of suppliers [Text] / The symbol of science. – Ufa, 2016. – P.33-35.
5. Butusov, O.B. Dubin ME Decision support system for supplier selection in the supply chain [Text] / Izvestia of the Moscow State Technical University MAMI. – Moscow, 2013. – P. 268-271.
6. GOST R ISO / IEC 12207-2010. Information technology. System and software engineering. Processes of the life cycle of software. – Moscow: Standartinform, 2011. – 105 p.
7. Demidov N.E. Mathematical models and methods for analyzing hierarchies in information security systems. to the soisk. scientist. step. Cand. tech. Sciences (05.13.01) / Demidov Nikolay Evgenievich. Tver, 2004.
8. Zavyalov F.N. Perepelitsa A.G. Overview and comparative characteristics of methods and criteria for selecting a supplier in supply chains [Text] / Collected materials of the sixth regional scientific conference of students and graduate students, 2015. – P. 310-317.
9. Maltseva M.V. Using the method of analyzing hierarchies in tasks of selecting priorities [Text] / Bulletin of the Irkutsk State Technical University. – Irkutsk, 2008. – P. 141-144.
10. Nogin V.D. A simplified version of the method for analyzing hierarchies based on non-linear convolution of criteria [Text] / Computational Mathematics and Mathematical Physics. – Moscow, 2004. №7. – P. 1261-1270. (Volume 44).
11. Ogurtsov A.N. Algorithm for increasing the consistency of expert assessments in the hierarchy analysis method [Text] / Bulletin of the Ivanovo State Energy University. – Ivanovo, 2013. – №5. – P.81-84.
12. Orlov A.I. The theory of decision making, textbook allowance [Text]. Orlov – Moscow: Publisher "March", 2004. – 656 p.
13. Petrovsky A.B. The theory of decision-making [Text]. – Moscow: "Academy" Publishing Center, 2009.
14. Poloskova M.I. The main tasks in choosing a potential supplier [Text] / Economics and business: theory and practice. – Novosibirsk, 2016. – P. 134-135.
15. Reutov P.V. Application of the hierarchy analysis method to solve the problem of supplier choice [Text] / Eurasian scientific association. – Publisher: Orlov Maksim Yurievich, 2017. – P.139-145.
16. Saati T. Decision-making. The method of analyzing hierarchies. – M.: Radio and Communication, 1993. – 278 p.
17. Silich M.P. Theory of Systems and Systems Analysis: Textbook. allowance [Text] – Moscow: TUSUR, 2011. – 276 p.
18. Tutygin A.G. Advantages and disadvantages of the method of analyzing hierarchies [Text] / Izvestiya of RSPU them. AI Herzen. Natural and exact sciences. – St. Petersburg, 2010. – No. 122.
19. Kharitonov EV Harmonization of the original subjective information in the methods of analysis of the hierarchy [Text] / Mathematical morphology: electronic mathematical and medico-biological journal. – Smolensk, 2010. – P.41-51.
20. Chulanova G.Yu. Using the analytical hierarchical procedure (MAI) method to select a supplier [Text] / Innovations. – St. Petersburg, 2013. – P.22-126.

**Глазунова Олеся Анатольевна**, кандидат экономических наук, доцент кафедры гостинично-туристического сервиса, коммерции и рекламы

**Сорокина Елена Сергеевна**, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий.

**Чмирева Елена Владимировна**, кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

**Glazunova Olesya Anatolievna**, candidate of economic sciences, associate professor, chair of hotel and tourism service, commerce and advertising

**Sorokina Elena Sergeevna**, senior lecturer of the applied informatics and information technologies department

**Chmireva Elena Vladimirovna**, candidate of economic sciences, senior lecturer, applied informatics and information technologies department

**ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION**

УДК 004.932

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-4-50-58

Чуйков Р.Ю.  
Юдин Д.А.**ОБНАРУЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ  
ЗАГОРОДНЫХ ШОССЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА  
SINGLE SHOT MULTIBOX DETECTOR**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46,  
г. Белгород, 308012, Россия

*e-mail: chuykov95@mail.ru, yuddim@yandex.ru*

**Аннотация**

В статье рассмотрено применение современного метода обнаружения объектов на изображении – Single Shot Multibox Detector. Осуществлено обучение свёрточной нейронной сети для обнаружения транспортных средств на выборке из 3000 изображений с размеченными областями расположения автомобилей. Произведена проверка качества работы сети на 7000 тестовых изображениях. Тестовая и обучающая выборки содержат изображения, сделанные монокулярной камерой, установленной в транспортном средстве, движущемся по загородным шоссе в светлое время суток. Полнота и точность обнаружения объектов на тестовой выборке составляет соответственно более 88% и 78%. Распознавание одного кадра занимает 28,5 миллисекунд, при этом вычисления осуществляются на графическом процессоре с использованием технологии NVidia CUDA. Полученные результаты могут быть применены в системах помощи водителю и мониторинга дорожной обстановки.

**Ключевые слова:** распознавание изображений; глубокое обучение; свёрточная нейронная сеть; обнаружение; транспортное средство.

UDC 004.932

Chuykov R.Y.  
Yudin D.A.**VEHICLE DETECTION ON HIGHWAY IMAGES BASED  
ON SINGLE SHOT MULTIBOX DETECTOR**

Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 46 Kostukova St., Belgorod, 308012, Russia

*e-mail: chuykov95@mail.ru, yuddim@yandex.ru*

**Abstract**

In this article we consider the application of the modern object detection method – Single Shot Multibox Detector. We have trained the convolutional neural network for vehicle detection on a sample of 3000 images with marked areas where are the vehicles are placed. A network quality check was performed on 7000 test images. The test and training samples contain images made by a monocular camera mounted in a vehicle moving along suburban highways during daylight hours. Recall and precision of object detection on the test sample is correspondingly more than 88% and 78%. Recognition of one frame takes 28.5 milliseconds. Experiment was performed on a graphics processor using NVidia CUDA technology. The obtained results can be applied in driver assistance systems and monitoring of the traffic situations.

**Keywords:** image recognition; deep learning; convolutional neural network; detection; vehicle.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Обнаружение транспортных средств на изображениях является необходимым элементом систем помощи водителю, мониторинга дорожной обстановки, беспилотного управления автомобилями. Решение этой задачи может сделать возможным информирование водителя о текущей обстановке на дороге, например, о приближающихся автомобилях или других участниках дорожного движения. Транспортные средства имеют большое разнообразие типов, отличающихся цветом и формой, поэтому на практике задача их обнаружения и классификации на дороге на основе анализа изображений до сих пор остается открытой.

За последние годы достигнут значительный прогресс в области обнаружения объектов с использованием сверточных нейронных сетей. Современные детекторы на основе этих сетей, такие как R-FCN [9], Faster R-CNN [3], Multibox [12], SSD [15] и YOLO [20] стали достаточно быстрыми для использования в потребительских продуктах и для работы на мобильных и встраиваемых устройствах [14].

В методе Faster R-CNN [5] обнаружение объектов проходит в два этапа. На первом этапе с помощью сети прогнозирования регионов (Region proposal network, RPN), представляющей собой сверточную нейронную сеть (например, архитектуры VGG-16 [13], ResNet [4] и др.) автоматически извлекаются признаки изображения и делаются предположения о возможных местах расположения объекта. На втором этапе, называемом классификатором областей (Box classifier), каждый из найденных регионов вырезается и классифицируется с помощью еще одной сверточной нейронной сети, при этом также происходит уточнение формы прямоугольников.

Метод R-FCN [10] был предложен для ускорения Fast R-CNN, который требует применения громоздкого выходного классификатора несколько сотен раз. В методе R-FCN (Region-based Fully Convolutional Networks), в отличие от Fast R-CNN обрезка областей не происходит на выходе сети прогнозирования регионов, вместо этого к выходу первой сети добавляются сверточные слои для дополнительного извлечения признаков и обрезка областей производится из последнего сверточного слоя. Далее происходит классификация с помощью всего лишь одного или двух полносвязных слоев нейронов. Такой подход позволил достичь точности сравнимой с Faster R-CNN при более быстром времени работы. Недавно модель R-FCN была также приспособлена для задачи сегментации в модели TA-FCN [18], которая выиграла задачу сегментации экземпляров COCO [7] 2016 года.

Метод Single Shot Detector (SSD) [15] был опубликован сравнительно недавно. Термин SSD используется для описания архитектур, в которых используется одна сверточная нейронная сеть (feedforward convolutional network) для непосредственного предсказания расположения областей и их классов, без применения второго этапа классификации. В этом методе на выходе нейронной сети формируются несколько тысяч прогнозов для возможных регионов расположения объектов разной формы на разных масштабах, затем с помощью подавления немаксимумов (Non-Maximum Suppression) происходит выбор нескольких наиболее вероятных областей. Такая единая структура, одновременно с учетом различных масштабов изображения обеспечила методу SSD наиболее высокие показатели по скорости и качеству обнаружения объектов по сравнению с остальными современными подходами [14].

Так же для распознавания объектов на изображениях может применяться быстродействующий метод Вилы-Джонса [1, 19, 21]. Метод использует скользящее окно, которое движется с некоторым шагом по изображению, и с помощью каскадов Хаара, определяет, есть ли в данной области объект. Этот метод имеет такие преимущества как детектирование нескольких объектов на изображении и хорошая скорость обнаружения. Однако этот метод имеет длительное время обучения, а также характеризуется ограниченными возможностями описания возможностей объектов с помощью признаков Хаара. Поэтому метод Виолы-Джонса не позволяет построить качественный детектор сложных объектов (к которым относятся автомобили под разными ракурсами), имеющий возможность дополнительного обучения.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей работе рассматривается обнаружение транспортных средств на изображениях загородных шоссе на основе метода Single Shot Multibox Detector (SSD). Обучающая и тестовая выборки соответственно содержат 3000 и 7000 изображений, сделанные монокулярной камерой, установленной в транспортном средстве, движущемся по загородным шоссе в светлое время суток. На каждом изображении размечены области расположения автомобилей. Изображения взяты из набора данных открытого конкурса по распознаванию автомобилей, проводившегося российской компанией «Когнитивные технологии» [2] в 2015 году.

На рисунке 1 изображен пример разметки элемента обучающей выборки, на нем показано изображение и соответствующий ему файл разметки, который содержит такие данные как: имя файла изображения, его размер, имя класса, координаты верхнего левого и нижнего правого прямоугольника, содержащего объект.

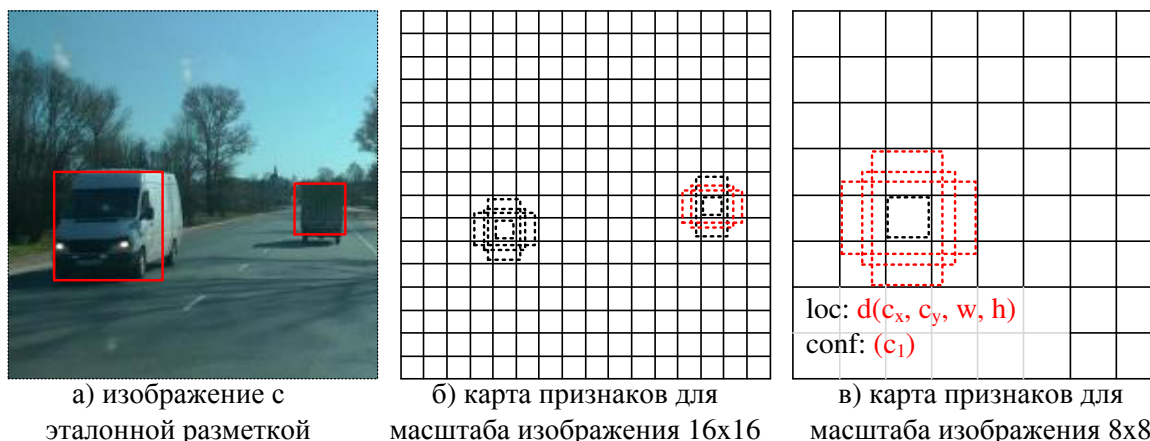


Рис. 1. Пример эталонной разметки изображений обучающей и тестовой выборки  
Fig. 1. An example of the reference marking of the images of the training and test samples

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА SSD ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В настоящей статье исследуется применение метода SSD (Single Shot MultiBox Detector) на примере модели SSD 300 [15]. На вход этой модели подается изображение 300x300 пикселей, затем к изображению применяется сверточные слои из усеченной стандартной модели VGG-16 (не используются выходные классифицирующие слои), далее к выходному слою добавляются специальные сверточные слои, представляющие собой изображение в разных масштабах. Пространственная размерность убывает до тех пор, пока не станет равной единице. Каждый из специальных сверточных слоев позволяет сформировать карту признаков для разных масштабов изображения (см. рисунок 2), в которой для пикселя карты определяется какой из ограничивающих прямоугольников в области 3x3 лучше всего совпадает с эталонной разметкой. Все эти карты объединяются в единый выходной слой, содержащий информацию о 8732 регионов (прямоугольников), в которых может находиться объект [15].

Для рассматриваемой задачи каждый из этих регионов содержит информацию о прогнозе класса объекта  $c_1$  (рассматривается только один класс – «транспортное средство»), о корректировке шаблонных прямоугольников по координатам  $c_x$  и  $c_y$ , а также по ширине и высоте  $w$  и  $h$  (рисунок 2). Итоговые области выбираются из этих 8732 прямоугольников с помощью метода подавления немаксимумов.



*Рис. 2.* Пояснения к обучению детектора объектов SSD: а – для обучения SSD требует только изображение и эталонная разметка в виде прямоугольников, б, в – для каждой размерности карты признаков (например, 16x16 и 8x8 в (б) и (в)) строятся шаблонные прямоугольники (например, по 4 для каждого из пикселя карты), и для каждого из них указывается принадлежность к классу  $c_1$ , а также величины корректировки шаблонных прямоугольников по координатам  $c_x$  и  $c_y$ , а также по ширине и высоте  $w$  и  $h$ , чтобы они совпадали с эталонными

*Fig. 2.* Explanations for learning the detector of objects SSD: а – SSD only needs an input image and ground truth boxes for each object during training, б, в – in a convolutional fashion, we evaluate a small set of default boxes of different aspect ratios at each location in several feature maps with different scales (e.g. 16x16 and 8x8 в (б) and (в)). For each default box, we predict both the shape offsets and the confidences for all object categories  $c_1$ . At training time, we first match these default boxes to the ground truth boxes

Реализация метода SSD [15] осуществлена на языке программирования Python 3 с использованием библиотек глубокого обучения Tensor Flow [16] и Keras [6], а также технологии NVIDIA CUDA [3].

На вход обучающего алгоритма подается обучающая выборка размером 3000 изображений, pickle-файл [8] с разметкой этих изображений содержащий информацию об имени файла изображения, классах объектов и их положении. Затем алгоритм проходит 30 итераций (эпох), сохраняя при этом файл с весами для каждой итерации. При необходимости метод позволяет загрузить веса уже обученной модели для тренировки сети на новых изображениях.

При тестировании на вход алгоритма SSD подаются веса обученной модели, набор изображений и файлы разметки в формате xml для вычисления метрик. Алгоритм находит все объекты на изображении, для каждого объекта создается массив с именем класса, координатами прямоугольника и вероятностью обнаружения.

Обучение и тестирование модели SSD было произведено на компьютере со следующими характеристиками: процессор Intel Core i7-4790 3.60GHz; оперативная память 16,0 ГБ; видеокарта MSI Nvidia GeForce GTX 1060, частота графического процессора 1594 МГц, 6144 Мб видеопамати GDDR5, частота видеопамати 8100 МГц, разрядность шины видеопамати 192 бит, число универсальных процессоров 1280.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

В ходе работы проведены вычислительные эксперименты для трех различным образом обученных свёрточных нейронных сетей:

1) сверточная нейронная сеть модели SSD 300, уже обученная на выборке Pascal VOC [11] (назовём ее SSD300\_VOC),

2) сверточная нейронная сеть из [11], дополнительно обученная на имеющейся обучающей выборке из 3000 изображений (назовём ее SSD300\_VOC\_Tuned),

3) сверточная нейронная сеть модели SSD 300, обученная с нуля на имеющейся обучающей выборке из 3000 изображений (назовём ее SSD300\_Cars).

Результаты вычислительных экспериментов по обучению и тестированию нейронных сетей приведены в таблице.

Таблица

**Результаты обнаружения транспортных средств на обучающей и тестовой выборке на основе модели SSD 300**

Table

**The results of vehicle detection on the training and test sample based on the SSD 300 model**

Свёрточная нейронная сеть	Обучающая выборка из 3000 изображений		Тестовая выборка из 7000 изображений	
	Полнота (R)	Точность (P)	Полнота (R)	Точность (P)
SSD300_VOC	0.475	0.889	0.727	0.597
<b>SSD300_VOC_Tuned</b>	<b>0.984</b>	<b>0.990</b>	<b>0.888</b>	<b>0.785</b>
SSD300_Cars	0.317	0.857	0.665	0.564

Для оценки качества обнаружения транспортных средств используются такие метрики как мера пересечения найденных и эталонных прямоугольников, содержащих транспортное средство (Intersection,  $I$ ), полнота (Recall,  $R$ ) и точность (Precision,  $P$ ) обнаружения объектов [9]. Рассмотрим каждый показатель отдельно.

Мера пересечения найденных и эталонных прямоугольников  $I$  (1) показывает, как точно свёрточная нейронная сеть нашла прямоугольник относительно прямоугольника эталонной разметки (рисунок 3).

$$I = \frac{S_I}{S_f + S_{gt} - S_I}, \quad (1)$$

где  $S_I$  – площадь пересечения истинного и вычисленного прямоугольника,  $S_f$  – площадь найденного алгоритмом прямоугольника,  $S_{gt}$  – площадь эталонного прямоугольника (ground truth).

Полнота  $R$  (2) показывает чувствительность алгоритма к ошибкам 2-го рода, то есть, пропускам, и равна отношению количества правильно найденных объектов к общему количеству этих объектов в эталонной разметке.

$$R = \frac{tp}{tp + fn}, \quad (2)$$

где  $tp$  – истинно-положительные (true positives) – те объекты, которые мы ожидали увидеть и получили на выходе,  $fn$  – ложно-отрицательные (false negatives) – объекты, которые мы ожидали увидеть, но алгоритм их не определил (пропуски).

Точность  $P$  (3) показывает чувствительность алгоритма к ошибкам 1-го рода, то есть, ложным срабатываниям и равна отношению количества правильно найденных объектов к общему количеству найденных алгоритмом прямоугольников.

$$P = \frac{tp}{tp + fp}, \quad (3)$$

где  $fp$  – ложно-положительные (false positives) объекты – такие, которых быть на выходе не должно, но алгоритм их ошибочно вернул на выходе (ложные срабатывания).

Все метрики выбраны с учетом общепринятых подходов, изложенных в работе [17].

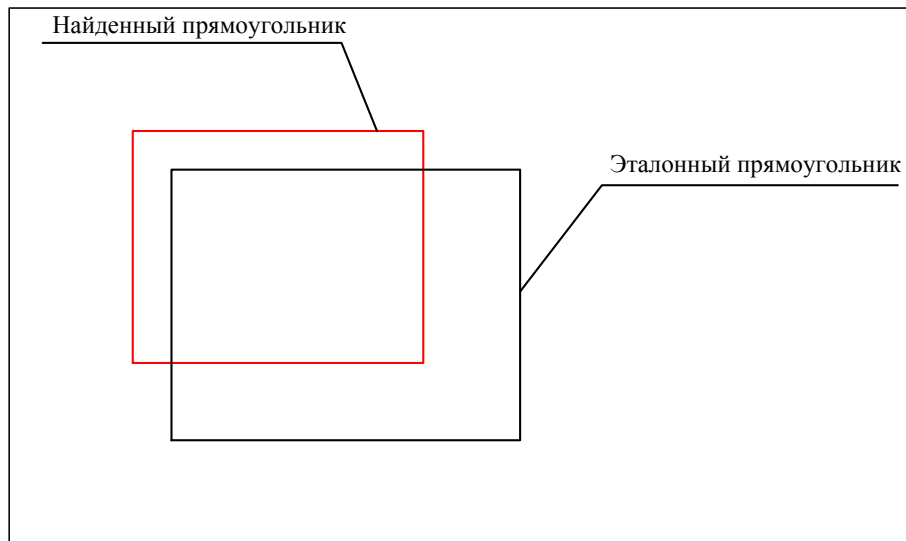


Рис. 3. Пояснение к определению меры пересечения  $I$  найденных и эталонных прямоугольников  
Fig. 3. Explanation to the definition of the measure of intersection  $I$  of the found and reference rectangles

На основе анализа результатов, приведенных в таблице, можно сказать, что наилучшие показатели качества у сети SSD300\_VOC\_Tuned, обученной на изображениях с автомобилями из имеющейся выборки, при этом веса настраивались не с нуля, а с использованием весов сети из [11] заранее обученной на изображениях из набора Pascal VOC. На втором месте готовая сеть SSD300\_VOC из [11], не обучавшаяся на обучающей выборке, а на третьем обученная сеть с нуля SSD300\_Cars.

Такие результаты отражают факт, что чем больше различных изображений автомобилей (объектов) было использовано при обучении нейронной сети, тем выше результаты и качества распознавания. Также результат доказывает перспективность и необходимость пополнения обучающей выборки для создания качественных алгоритмов обнаружения объектов в различных условиях съемки.

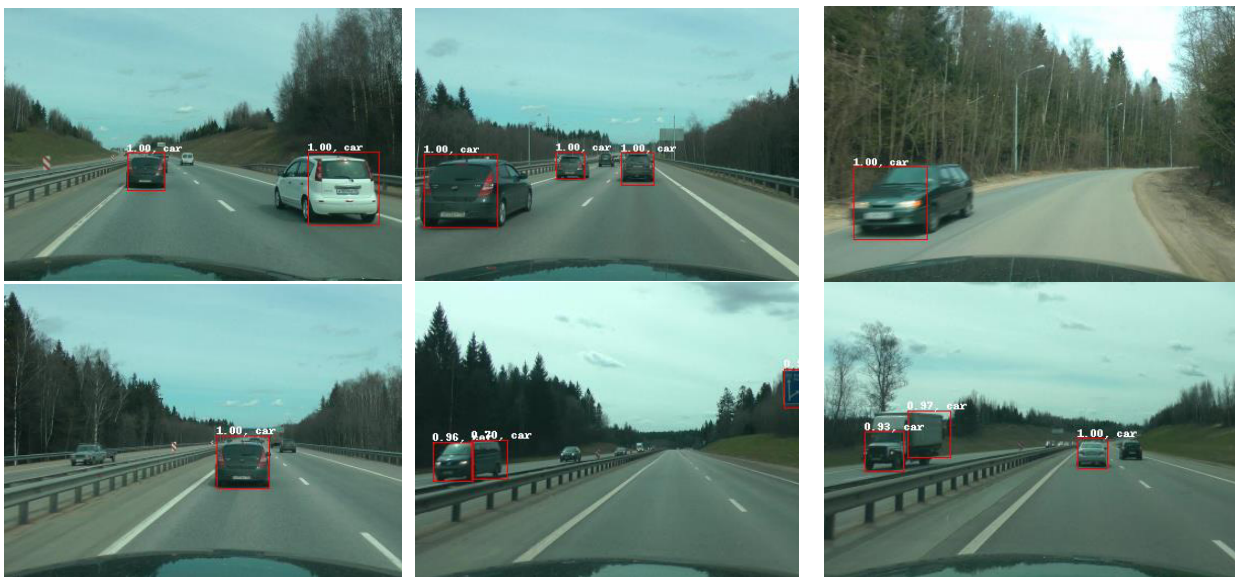


Рис. 4. Примеры обнаружения транспортных средств на изображениях загородных шоссе с помощью сверточной нейронной сети SSD300\_VOC\_Tuned  
Fig. 4. Examples of vehicles on the images of suburban highways using a convolutional neural network SSD300\_VOC\_Tuned



На рисунке 4 показаны примеры обнаружения транспортных средств на изображениях загородных шоссе с помощью сверточной нейронной сети *SSD300\_VOC\_Tuned*. На некоторых изображениях видны пропуски обнаружения объектов и ложные срабатывания, причиной этому может быть недостаточно точная разметка эталонных изображений, недостаточное количество обучающей выборки или структура сети.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В дальнейшей работе над этой темой планируется улучшать результаты работы детектора объектов, подавая на обучение более точно размеченную эталонную выборку, настраивая структуру сети и увеличивая количество изображений с объектами.

Время обработки при распознавании транспортных средств на 7000 изображений составило 200 секунд, обработка одного кадра занимает 28,5 миллисекунд. Такое время обработки одного кадра позволит распознавать потоковое видео с частотой 35 кадров в секунду. Это означает, что с учетом высокого качества обнаружения объектов примененный метод *SSD (Single Shot Multibox Detector)* можно использовать для создания эффективных систем помощи водителю и мониторинга дорожной обстановки.

### **БЛАГОДАРНОСТИ.**

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-3130.2017.9 (договор №14.Z56.17.3130-МК).

### **Список литературы**

1. Распознавание транспортных средств и регистрация их траектории движения на последовательности изображений / Юдин Д.А., Горшкова Н.Г., Кныш А.С., Фролов С.В. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 139-148.
2. Cognitive pilot. Система автономного управления наземным транспортом компании «Когнитивные технологии». URL: <http://cognitivepilot.com/ru/about/technologies>.
3. CUDA Toolkit. Develop, Optimize and Deploy GPU-accelerated Apps. URL: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>
4. Deep residual learning for image recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. arXiv preprint arXiv:1512.03385, 2015.
5. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks / S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun // In Advances in neural information processing systems, 2015, P. 91–99.
6. Keras: Deep Learning library for Theano and TensorFlow, URL: <https://keras.io/>.
7. Microsoft COCO: Common objects in context / T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, and C. L. Zitnick // In ECCV, 2014.
8. Pickle – Python object serialization. URL: <https://docs.python.org/3/library/pickle.html>
9. Powers, D. M. W. Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation. Journal of Machine Learning Technologies. 2007, 2 (1): 37–63.
10. R-fcn: Object detection via region-based fully convolutional networks / J. Dai, Y. Li, K. He, and J. Sun // arXiv preprint arXiv:1605.06409, 2016.
11. Rykov A. Port of Single Shot MultiBox Detector to Keras. URL: [https://github.com/rykov8/ssd\\_keras](https://github.com/rykov8/ssd_keras).
12. Scalable, high-quality object detection / C. Szegedy, S. Reed, D. Erhan, and D. Anguelov // arXiv preprint arXiv:1412.1441, 2014
13. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
14. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors / Huang J., Rathod V., Sun C., Zhu M., Korattikara A., Fathi A., Fischer I., Wojna Z., Song Y., Guadarrama S., Murphy K. // arXiv:1611.10012v3 [cs.CV], 2017.
15. SSD: Single Shot MultiBox Detector / Liu W., Anguelov D. and Erhan D. and Szegedy C. and Reed S. and Fu C.-Y. and Berg A. C. // ECCV, arXiv:1512.02325, 2016.

16. TensorFlow. An open-source software library for Machine Intelligence, URL: <https://www.tensorflow.org/>.
17. The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge / M. Everingham, L. Van Gool, C. K. I. Williams, J. Winn, A. Zisserman. // International Journal of Computer Vision, 2010, Vol. 88, Issue 2, P. 303–338.
18. Translation aware fully convolutional instance segmentation / Y. Li, H. Qi, J. Dai, X. Ji, W. Yichen. URL: <https://github.com/daijifeng001/TA-FCN>, 2016.
19. Viola P., Jones M. J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'01), 2001, vol. 1, pp. I-511–I-518.
20. You only look once: Unified, real-time object detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // arXiv preprint arXiv:1506.02640, 2015.
21. Yudin D., Knysh A. Vehicle recognition and its trajectory registration on the image sequence using deep convolutional neural network // The International Conference on Information and Digital Technologies, 2017, P. 435-441.

### Reference

1. Vehicle recognition and its trajectory registration on image sequence / Yudin D.A., Gorshkova N.G., Knysh A.S., Frolov S.V. // Bulletin of BSTU. named after V.G. Shukhov, vol. 6, pp. 139–148, 2016.
2. Cognitive pilot. Autonomous control system of ground transport by Cognitive Technologies. URL: <http://cognitivepilot.com/ru/about/technologies>.
3. CUDA Toolkit. Develop, Optimize and Deploy GPU-accelerated Apps. URL: <https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>
4. Deep residual learning for image recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. arXiv preprint arXiv:1512.03385, 2015.
5. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks / S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun // In Advances in neural information processing systems, 2015, P. 91–99.
6. Keras: Deep Learning library for Theano and TensorFlow, URL: <https://keras.io/>.
7. Microsoft COCO: Common objects in context / T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, and C. L. Zitnick // In ECCV, 2014.
8. Pickle – Python object serialization. URL: <https://docs.python.org/3/library/pickle.html>
9. Powers, D. M. W. Evaluation: From Precision, Recall and F-Measure to ROC, Informedness, Markedness & Correlation. Journal of Machine Learning Technologies. 2007, 2 (1): 37–63.
10. R-fcn: Object detection via region-based fully convolutional networks / J. Dai, Y. Li, K. He, and J. Sun // arXiv preprint arXiv:1605.06409, 2016.
11. Rykov A. Port of Single Shot MultiBox Detector to Keras. URL: [https://github.com/rykov8/ssd\\_keras](https://github.com/rykov8/ssd_keras).
12. Scalable, high-quality object detection / C. Szegedy, S. Reed, D. Erhan, and D. Anguelov // arXiv preprint arXiv:1412.1441, 2014.
13. Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
14. Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors / Huang J., Rathod V., Sun C., Zhu M., Korattikara A., Fathi A., Fischer I., Wojna Z., Song Y., Guadarrama S., Murphy K. // arXiv:1611.10012v3 [cs.CV], 2017.
15. SSD: Single Shot MultiBox Detector / Liu W., Anguelov D. and Erhan D. and Szegedy C. and Reed S. and Fu C.-Y. and Berg A. C. // ECCV, arXiv:1512.02325, 2016.
16. TensorFlow. An open-source software library for Machine Intelligence, URL: <https://www.tensorflow.org/>.
17. The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge / M. Everingham, L. Van Gool, C. K. I. Williams, J. Winn, A. Zisserman. // International Journal of Computer Vision, 2010, Vol. 88, Issue 2, P. 303–338.
18. Translation aware fully convolutional instance segmentation / Y. Li, H. Qi, J. Dai, X. Ji, W. Yichen. URL: <https://github.com/daijifeng001/TA-FCN>, 2016.
19. Viola P., Jones M. J. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'01), 2001, vol. 1, pp. I-511–I-518.
20. You only look once: Unified, real-time object detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // arXiv preprint arXiv:1506.02640, 2015.

21. Yudin D., Knysh A. Vehicle recognition and its trajectory registration on the image sequence using deep convolutional neural network // The International Conference on Information and Digital Technologies, 2017, P. 435-441.

**Чуйков Роман Юрьевич**, магистрант кафедры технической кибернетики

**Юдин Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики

**Chuykov Roman Yurievich**, master student of the Department of technical cybernetics

**Yudin Dmitriy Aleksandrovich**, candidate of technical sciences, engineer of the Department of technical cybernetics

УДК 004.932

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-4-59-66

Буханцов А.Д.<sup>1</sup>  
Дружкова И.В.<sup>1</sup>  
Кулешов С.И.<sup>2</sup>  
Киселёв Ю.И.<sup>1</sup>

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СКРЫТОГО ВНЕДРЕНИЯ  
ИНФОРМАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ  
МОНОХРОМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85,  
г. Белгород, 308015, Россия

<sup>2</sup> Администрация Губернатора Белгородской области, отдел информационной безопасности, пл. Соборная д. 4,  
г. Белгород, 308005, Россия

*e-mail: bukhantsov@bsu.edu.ru, 984546@bsu.edu.ru, Kulechov27@mail.ru, 842884@bsu.edu.ru*

**Аннотация**

Реальные изображения не являются случайным процессом с равномерным распределением, поэтому использование их как контейнеров в стенографическом кодировании является актуальной задачей. Для использования свойств изображений применяются неформатные методы кодирования. В данной статье предлагается рассмотреть следующий неформатный метод стеганографии: кодирование в субполосах изображения, где информация побитно кодируется в изображение, внося изменения в ограниченную субполосу стегакодекса, используя ограниченное количество её коэффициентов, выбор которых подчиняется реализованному алгоритму. Данный метод рассматривается в сравнение с распространённым методом скрытого внедрения информации в изображение с помощью расширения спектра, в котором информационное сообщение побитно модулируется путем умножения на ансамбль ортогональных сигналов.

**Ключевые слова:** оценка эффективности; мультимедийные данные; качество обслуживания сети; качество восприятия.

UDC 004.932

Bukhantsov A.D.<sup>1</sup>  
Druzhkova I.V.<sup>1</sup>  
Kuleshov S.I.<sup>2</sup>  
Kiselyov Y.I.<sup>1</sup>

**RESEARCH OF ALGORITHMS CONCEALED INTRODUCTION  
OF DATA IN GRAYSCALE IMAGES SPATIAL DOMAIN**

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup> Administration of the Governor of the Belgorod Region, Information Security Department,  
4 Sobornaya Sq., Belgorod, 308005, Russia

*e-mail: bukhantsov@bsu.edu.ru, 984546@bsu.edu.ru, Kulechov27@mail.ru, 842884@bsu.edu.ru*

**Abstract**

Real images are not a random image with a uniform distribution, so using them as containers in steganography coding is an actual task. Non-formatting encoding methods use image properties. This article proposes to consider the following non-formatting method of steganography: encoding in sub-bands of an image where information is bit-coded in an image, including a limited sub-band of an image container, using a limited number of its coefficients, the choice of which obeys the implemented algorithm. This method is considered in a comparative analysis using the spread spectrum, in which the information message is bit by bit modulated by multiplying by an ensemble of orthogonal signals.

**Keywords:** steganography; image; subband analysis; spreading method.

В настоящее время задача надежной защиты информации от несанкционированного доступа посредством стеганографии является актуальной в связи с изменчивостью требований и ростом возможностей взлома. Пересекаясь с такой же актуальной задачей как сжатие информации, цель данной задачи не только в ограничении доступа к информации, но и в увеличении объема конфиденциальной информации в контейнере [5].

Таким образом, данные задачи привели к разработке новых стенографических методов, предназначенных для обеспечения безопасности передачи данных по каналам телекоммуникаций. Большинство исследований направлено на использование в качестве контейнеров стенографического кодирования изображений. Учитывая неточности устройств оцифровки и избыточность таких контейнеров, появляется возможность использовать пространственные компоненты изображений для внедрения информации.

В отличие от криптографии, которая скрывает содержимое тайного сообщения, стеганография скрывает сам факт его существования. То есть, преимущество стеганографии над чистой криптографией состоит в том, что сообщения не привлекают к себе внимания.

В данной статье сравниваются разработанный неформатный метод стеганографии: кодирование в субполосах изображения, который при преобразовании изображения используют его свойства, и такой же неформатный метод: метод расширения спектра. Неформатные методы – это методы, использующие непосредственно сами данные изображения [4]. Применение неформатных методов неизбежно приводит к появлению искажений, вносимых стеганографической системой, однако при этом они являются более стойкими к атакам как пассивных, так и активных противников.

В алгоритме стеганографического кодирования в субполосах изображения информационное сообщение побитно внедряется в субполосы стегоконтейнера.

Реальные изображения не являются случайным процессом с равномерным распределением. Известно, что большая часть энергии изображений сосредоточена в низкочастотной части спектра. Поэтому и необходимо декомпонировать изображения на субполосы. Низкочастотные субполосы содержат большую часть энергии изображения и, следовательно, носят шумовой характер. Высокочастотные субполосы наиболее подвержены воздействию со стороны различных алгоритмов обработки, будь то сжатие или НЧ фильтрация. Таким образом, для вложения сообщения наиболее подходящими кандидатами являются среднечастотные субполосы спектра изображения [1,6-10].

Вычисление энергетического спектра изображения позволяет получить представление о распределении его энергии по так называемым частотным интервалам. Известно, что алгоритмы, использующие преобразование Фурье и БПФ, не позволяют вычислять точные значения энергетических характеристик в заданных частотных интервалах. Умение точно определять долю энергии изображения в отдельном частотном диапазоне обеспечивает возможность более качественного выбора параметров различных преобразований визуальной информации. Это и обеспечивает субполосные преобразования [1].

Контейнер-изображение будет рассматриваться как массив данных  $C$  размерностью  $M \cdot N$ , разбитый на квадратные подблоки  $C_i$  размером  $S = 64$ . В качестве элементов массива  $C$  будут выступать несжатые растровые данные полутонового изображения.

Так как в данной работе будут использоваться квадратные подблоки, то необходимость в использовании второй субполосной матрицы по оси ординат не имеет смысла. Поэтому далее будет описываться алгоритм без учета построения второй субполосной матрицы.

Частотное пространство предлагается неравномерно разбить на субинтервалы каждый подблок стегоконтейнера в соответствии с выражениями [4]:

$$(2R + 1)\Omega_0 = \pi, \quad (1)$$

где  $R$  – количество частотных интервалов и  $R = \frac{n-2}{4}$ ;  $\Omega_0$  – нулевой частотный интервал

частотного пространства и  $\Omega_0 = \frac{2\pi}{S}$ .

Ширина остальных частотных интервалов, не считая нулевого, является вдвое большей и равна:

$$\Omega = \frac{4\pi}{S} \quad (2)$$

Для вычисления энергетического спектра изображения используется субполосная матрица  $A = \{a_{ik}\}$  – симметричная матрица, элементы которой определяются:

$$a_{ik} = \begin{cases} \frac{\sin[\nu_2(i-k)] - \sin[\nu_1(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{\nu_2 - \nu_1}{\pi}, & i = k \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку, матрица является симметрической, то данные матрицы можно представить, используя ее собственные числа и собственные векторы, в следующем виде:

$$A_r = Q^r L^r Q^{rT} \quad (4)$$

Так как матриц собственных векторов несколько, выбирается та матрица, у которой среднее значение энергии. Далее стеганографическое кодирование будет производиться с помощью кодирования в знаки определенных коэффициентов матрицы  $q$ , полученной по следующей формуле:

$$q = Q^{rT} C_i Q^r \quad (5)$$

Выбор коэффициент был автоматизирован. Алгоритм будет рассмотрен ниже. В каждый найденный элемент внедряется информация по следующей формуле:

$$q_{ij} = q_{ij} \cdot e_k \quad (6)$$

где  $e_k$  – кодовое отображение двоичного бита контрольной информации,  $e_k \in \{-1,1\}$ , определяемое по формуле:

$$e_k = 2bit_k - 1, k = 1, \dots, K \quad (7)$$

где  $bit_k$  – бит информации в двоичной системе счисления,  $bit_k \in \{0,1\}$ ;  $K$  – объем скрытно кодируемой информации.

Для процесса декодирования вначале вычисляется обратное преобразование по формуле:

$$q = Q^r C_i Q^{rT} \quad (8)$$

Декодирование происходит аналогичным образом, то есть поиском определенных коэффициентов и извлечением из них знака:

$$\tilde{e}_k = \text{sign}(q_{ij}) \quad (9)$$

Решение о декодированном сигнале принимается в соответствии с выражением:

$$\tilde{bit}_k = \begin{cases} 0, & \tilde{e}_k < 0 \\ 1, & \tilde{e}_k > 0 \end{cases} \quad (10)$$

Выбор коэффициентов был автоматизирован с помощью следующего алгоритма:

1. Вычисляются абсолютные значения матрицы  $q$ .
2. Задается количество интервалов  $100 \leq I \leq 500$  (оптимальные значения разбиения), на которые делится весь диапазон значений матрицы  $q$ .

3. Выбирается первый интервал, так как он всегда содержит наибольшее количество элементов.

4. Происходит поиск  $nbit$  (количество внедряемых бит в один подблок) элементов в матрице  $q$  по следующему алгоритму:

5. В каждый столбец кодируется не более  $\frac{nbit}{S}$ .

6. Происходит циклический поиск от диагонального элемента первых подходящих элементов, принадлежащих заданному интервалу.

7. В каждый найденный элемент внедряется информация по формуле (6-10).

В алгоритме стеганографического кодирования, основанного на методе расширения спектра, информационное сообщение побитно модулируется путем умножения на ансамбль ортогональных сигналов.

В данном случае разбиение контейнера на блоки может быть произвольным. Встраивание информационного сообщения осуществляется следующим образом: каждый бит сообщения сопоставляется с отдельным блоком контейнера-изображения [2].

Суть метода заключается в добавлении к изображению псевдослучайной последовательности (ПСП) в соответствии с выражением:

$$\tilde{C}_i = C_i + g \cdot e_k \cdot u, \quad (11)$$

где  $C_i$  – исходный подблок изображения;  $u$  – матрица размером  $m \cdot n$ , соответствующая ПСП;  $g$  – коэффициент, задающий энергию подблока изображения, куда встраивается бит;  $e_k$  – кодовое отображение двоичного бита внедряемой информации, определяемое по формуле (7).

Для уменьшения искажений в полученном стегоконтейнере, необходимо произвести фильтрацию на каждом подблоке:

$$\tilde{C}_i = \tilde{C}_i - \lambda \cdot u, \quad (12)$$

где  $\lambda$  – весовой коэффициент:

$$\lambda = \sum_{k=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (c_{kj} \cdot u_{kj}), \quad (13)$$

где  $c_{kj}$  – пиксель исходного подблока изображения  $C_i = \{c_{kj}\}$ ,  $k, j = 1, 2, \dots, S$ .

Стоит отметить, что использование в качестве шума матрицы ПСП  $u$ , не обладающей взаимной энергией с данными, позволяет повысить помехоустойчивость стеганографически закодированной информации, а использование коэффициента проекции  $\lambda$  повышает скрытность информации.

На этапе извлечения данных нет необходимости владеть информацией о первичном контейнере. Операция декодирования заключается в восстановлении скрытого сообщения путем проецирования каждого блока, полученного стегоконтейнера, на все базисные функции. Поэтому для декодирования высчитывается только коэффициент  $\lambda$ , и далее аналогично применяются формулы (9) и (13=10).

Для исследования данных алгоритмов необходимо оценить их информационную скрытность и криптографическую стойкость.

Для оценки эффективности предоставленных алгоритмов предлагается использовать различные критерии оценок, каждый из которых обладает разной чувствительностью к различным изменениям. Существует множество таких критериев, наиболее известными из них являются: критерий минимума квадрата среднеквадратичного отклонения (MSE), пиковое отношение сигнала к шуму (PSNR), нормированная корреляция (NC). Ниже представлены эти формулы в соответствующем порядке:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N (\tilde{f}_{ik} - f_{ik})^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N f_{ik}^2}}, \quad (14)$$

где  $f_{ik}$  – пиксель исходного изображения  $\Phi = \{f_{ik}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $\tilde{\Phi}_{ik}$  – преобразованное изображение.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE}, \quad (15)$$

где MAX – это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения. Когда пиксели имеют разрядность 8 бит, MAX = 255.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N \tilde{f}_{ik} \cdot f_{ik}}{\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N f_{ik}^2} \quad (16)$$

Для сравнительного анализа производилось кодирование информации в изображения с помощью методов кодирования в субполосах и расширения спектра. Для вычислительного эксперимента были взяты аналогичные параметры для кодирования информации в изображении (табл. 1).

Таблица 1

**Параметры кодирования**

Table 1

**Coding parameters**

Параметры изображения	Значение	Параметры кодирования	Значение по методу кодирования в субполосах	Значение по методу расширения спектра
Размер изображения	512x512	Размер подблока изображения	64x64	8x8
Формат изображения	TIFF	Количество бит, кодируемое в одном подблоке	64	1
Глубина цвета	8 бит	Всего закодировано бит	4096	4096

При проведении эксперимента в изображения (рис. 1) были закодированы одинаковые последовательности бит, имеющие нормальный закон распределения.





Рис. 1. Шаблоны монохромного изображения: а) тестовое изображение «Lena» б) тестовое изображение «Cameraman»

Fig. 1. Patterns of grayscale image: a) test image «Lena» b) test image «Cameraman»

Таблица 2

**Результаты оценки скрытности**

Table 2

**The results of assessment of stealthiness**

Изображение	Метод	Оценки		
		MSE	PSNR	NC
№1	Субполосное кодирование	0.17838	55.61725	0.99999
	Расширение спектра	6.58521	39.94511	0.99987
№2	Субполосное кодирование	0.14879	56.40483	0.99999
	Расширение спектра	7.12655	39.60201	0.99983

С учетом функционального назначения стеганосистемы, вводятся следующие показатели эффективности для оценки ее стойкости:

Пропускная способность – отношение объема  $V$  встраиваемой в контейнер информации к общему объему  $N \cdot M$  контейнера:

$$C = \frac{V}{N \cdot M} \quad (17)$$

Величина вносимых искажений как процентное отношение среднеарифметического всех абсолютных значений  $\Delta$ -изменений данных контейнера к максимально возможному значению  $\Delta_{\max}$ :

$$I = \frac{100}{\Delta_{\max} \cdot N \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^{N \cdot M} |\Delta_i|, \quad (18)$$

где  $\Delta_i$  –  $\Delta$ -изменения  $i$ -го элемента контейнера

Вероятность ошибочного извлечения информационных данных сообщения:

$$P_{\text{ош}} = \frac{V - V_{\text{ош}}}{N \cdot M}, \quad (19)$$

где  $V_{\text{ош}}$  – объем ошибочно извлеченных данных.

В исследовании были использованы различные монохромные изображения, куда было закодировано  $10^6$  бит. Таким образом, полученные результаты по каждому изображению были усреднены.

Таблица 3

**Результаты оценки стойкости**

Table 3

**The results of assessment of resistance**

Показатель	Метод	
	Субполосное кодирование	Расширение спектра
Пропускная способность	до 0.04785	0.01563
Величина вносимых искажений	11.62646 %	18.70203 %
Вероятность ошибочного извлечения бита	0	0.00024

Кодирование в субполосах изображения и кодирование по методу расширения спектра позволяют осуществить встраивание информационных данных в неподвижные изображения для скрытной передачи и реализовать, таким образом, стеганографическую защиту информации.

Однако, свойства субполосных представлений позволяют говорить об их большей оптимальности для разработки алгоритмов стеганографического кодирования информации в изображении по сравнению с методом расширения спектра в связи с большей криптографической стойкостью и лучшими показателями скрытности.

**Список литературы**

1. Жилияков Е.Г., Веселых Н.К. Сжатие изображений на основе субполосного анализа/синтеза // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. №21-1 (192).
2. Жилияков Е. Г., Черноморец А.А., Лысенко И.В. Метод определения точных значений долей энергии изображений в заданных частотных интервалах // Вопросы радиоэлектроники. Сер. РЛТ. – 2007. – Вып. 4. – С. 115-123.
3. Жилияков Е.Г., Лихолоб П.Г., Медведева А.А. Исследование некоторых стеганографических алгоритмов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2016. №2-1.
4. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – М.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
5. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М: Солон-Пресс, 2009. – 265 с.
6. Черноморец А. А., Голошапова В. А., Лысенко И. В., Болгова Е. В. О частотной концентрации энергии изображений // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2011. №1-1 (96).
7. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. Исследование устойчивости стеганографии в изображениях // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. Т. 29. № 1-1 (172). С. 168-174.
8. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Гахова Н.Н. О субполосном внедрении информации в подобласти пространственных частот изображения-контейнера // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. № 9. С. 85-87.
9. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Голошапова В.А. Оценка эффективности субполосного внедрения данных в изображении // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2014. Т. 30. № 8-1 (179). С. 200-206.
10. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В., Голошапова В.А. О субполосном внедрении в цветные изображения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2015. Т. 33. № 1-1 (198). С. 158-162.

**Reference**

1. Zhilyakov E.G., Veselykh N.K. Image compression based on subband analysis / synthesis / Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika. 2014. №21-1 (192).

2. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Lysenko I.V. The method of determining the exact values of the energy shares of images in given frequency intervals // *Voprosy radioelektroniki. Ser. RLT.* – 2007. – Вып. 4. – S. 115-123.
4. Konakhovich GF, Puzyrenko A.Yu. *Computer Steganography. Theory and practice.* – Moscow: MK-Press, 2006. – 288 p.
5. Gribunin VG, Okov IN, Turintsev I.V. *Digital steganography.* – M: Solon-Press, 2009. – 265 p.
6. Chernomorets A. A., Goloshchapova V. A., Lysenko I. V., Bolgova Ye. V. About power concentration of images in spectral domain // *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika.* 2011. №1-1 (96).
7. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Gakhova N.N. Investigation of steganography stability in images // *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika.* 2014. T. 29. № 1-1 (172). S. 168-174.
8. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Gakhova N.N. On the subband introduction of information in the subregion of the spatial frequencies of the image container // *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primeneniye.* 2014. № 9. S. 85-87.
9. Zhilyakov Ye.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Goloshchapova V.A. Estimation of the efficiency of subband introduction of data into images // *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika.* 2014. T. 30. № 8-1 (179). S. 200-206.
10. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Goloshchapova V.A. On subband introduction in color images // *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika.* 2015. T. 33. № 1-1 (198). S. 158-162.

**Буханцов Андрей Дмитриевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**Дружкова Ирина Викторовна**, студент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**Киселёв Юрий Игоревич**, магистр кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

**Кулешов Сергей Иванович**, ведущий специалист-эксперт отдела информационной безопасности Администрации Губернатора Белгородской области г. Белгород

**Bukhantsov Andrey Dmitrievich**, candidate of technical sciences, associate professor, Department of information and telecommunication systems and technologies

**Druzhkova Irina Viktorovna**, student of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

**Kiselev Yuri Igorevich**, master of the Department of mathematical and software information systems

**Kuleshov Sergey Ivanovich**, leading expert-expert of the information security Department of the administration of the governor of the Belgorod Region, Belgorod