

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

RESEARCH RESULT. INFORMATION TECHNOLOGY

Том 4 № 4
Volume 4 2019

16+

Сайт журнала:
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 4, № 4. 2019

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 4, № 4. 2019

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: Черноморец А.А., доктор технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: Болгова Е.В., кандидат технических наук, 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)

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)

Калмыков И.А., доктор технических наук, профессор (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь)

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

Косыкин 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)

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)

Таранчук В.Б., доктор физико-математических наук, профессор, (Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь)

EDITORIAL TEAM:

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

EXECUTIVE SECRETARY: Evgeniya V. Bolgova, Candidate of Technical Sciences, 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)

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

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

Igor A. Kalmykov, 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)

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

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

Valery B. Taranchuk, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Belarus)

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

Кузнецов Д.А., Дамм В.А., Кузнецов А.В., Трегубов Р.Б. Сравнительный анализ популярных методов распознавания лиц на изображениях	3	Kuznetsov D.A., Damm V.A., Kuznetsov A.V., Tregubov R.B. Comparative analysis of popular facial recognition techniques in the images	3
Самхарадзе К.К., Михелев В.М. Алгоритм определения морфометрических параметров поверхностных структур лимфоцитов на изображениях клеток крови	10	Samkharadze K.K., Mikhelev V.M. Algorithm for determining morphometric parameters of surface structures of lymphocytes on images of blood cells	10

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

Оладько В.С. Инциденты сетевой безопасности в системе цифровой экономики	19	Oladko V.S. Network security incidents in the digital economy system	19
Бузов П.А., Тиняков О.А., Долинский А.А., Зайцев А.Н., Медведева Т.В. Программный пакет имитационного моделирования процессов и систем	31	Buzov P.A., Tinyakov O.A., Dolinsky A.A., Zaitsev A.N., Medvedeva T.V. Software package for simulating processes and systems	31
Какаев Д.В., Маслова М.А. Автоматизация расчетов рисков информационной безопасности методом экспертных оценок на Python	39	Kakaev D.V., Maslova M.A. Automation of calculations of information security risks by expert assessments on Python	39
Резников Н.Г., Щербинина Н.В., Забнин С.А. Оптимизация процесса управления обжигом цементного клинкера	48	Reznikov N.G., Shcherbinina N.V., Zabnin S.A. Optimization of cement clinker firing control process	48
Жихарев А.Г., Маторин С.И., Белов А.С. Системно-объектное моделирование технологических операций формирования комбинированного канального сигнала	55	Zhikharev A.G., Matorin S.I., Belov A.S. System-object simulation modeling of technological operations forming a combined channel signal	55
Егоров И.А., Бузов А.А., Забнин С.А., Зайцев А.Н. Формальные основы процедур оптимизации системно-объектных имитационных моделей процессов и систем	66	Egorov I.A., Buzov A.A., Zabnin S.A., Zaitsev A.N. Formal bases of optimization procedures of system-object imitation models of processes and systems	66

ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

Бражников А.М., Бражникова А.М., Забержинский Б.Э. О прецизионном преобразователе широтно-импульсного кода в напряжение	79	Brazhnikov A.M., Brazhnikova A.M., Zaberzhinsky B.E. About precision digital-analog converter (PWM-voltage)	79
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER SIMULATION HISTORY**

УДК 004.75

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-1

**Кузнецов Д.А.
Дамм В.А.
Кузнецов А.В.
Трегубов Р.Б.****СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ
РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

e-mail: wvxp@mail.ru, kvaa77@mail.ru

Аннотация

При эксплуатации объектов информатизации необходимым условием их функционирования является наличие подсистемы аутентификации. Применение многомодальных систем аутентификации на объектах информатизации сопровождается использованием методов распознавания лиц на изображении. Многообразие существующих на сегодняшний день методов распознавания лиц на изображении диктует необходимость выбрать наиболее эффективный с точки зрения точности метод распознавания лица. Наиболее популярными алгоритмами распознавания лиц являются метод гибкого сравнения на графах, метод главных компонент, метод Виолы-Джонса, метод опорных векторов, метод формирования штрих-кодов по изображению лица. На процедуру распознавания лиц оказывает влияние ряд факторов, таких как динамика лиц, изменение яркости, наличие шумов и поворот лица, а также старение лиц. Эти факторы обусловлены невозможностью обеспечить стабильные условия съемки. Поэтому необходимо провести сравнение указанных методов распознавания лиц с учетом их способности эффективно выполнять свою задачу в этих условиях.

Ключевые слова: интеллектуальное пространство; зал; обнаружение лица; аутентификация; распознавание лиц; распознавание; контроль доступа.

UDC 004.75

**Kuznetsov D.A.
Damm V.A.
Kuznetsov A.V.
Tregubov R.B.****COMPARATIVE ANALYSIS OF POPULAR FACIAL
RECOGNITION TECHNIQUES IN THE IMAGES**

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: wvxp@mail.ru, kvaa77@mail.ru

Abstract

In the operation of informatization objects, the necessary condition for their functioning is the presence of an authentication subsystem. The application of multimodal authentication systems on informatization objects is accompanied by the use of facial recognition methods on the image. The variety of current facial recognition techniques in an image requires the selection of the most accurate facial recognition technique. The most popular facial recognition algorithms are the flexible comparison method on graphs, the principal component method, the Viola-Jones method, the reference vector method, and the face image barcode method. Facial recognition is influenced by a number of factors, such as facial dynamics, brightness change, noise and facial rotation, and facial ageing. These factors are due to the inability to ensure stable shooting conditions.

Therefore, it is necessary to compare these facial recognition methods in view of their ability to perform their task effectively under these conditions.

Keywords: intellectual space; room; detection of the person; authentication; face recognition; recognition; access control.

ВВЕДЕНИЕ

Реализация подсистемы аутентификации на объектах информатизации подразумевает применение методов многомодальной аутентификации [1], необходимой составляющей которых является метод распознавания лица на изображении [2]. Многообразие методов распознавания лиц обуславливает необходимость выбора наиболее эффективного из них с точки зрения достоверности процедуры аутентификации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проведенные исследования существующих алгоритмов распознавания лиц [3] показали, что, не смотря на их многообразие, существует общая структура процесса распознавания лиц [4] (рисунок).



Рис. Структура процесса распознавания лица
Fig. The structure of the face recognition process

На первом этапе производится детектирование и локализация лица на изображении. На этапе распознавания производится геометрическое и яркостное выравнивание изображения лица, вычисление признаков и непосредственно распознавание – сравнение вычисленных признаков с заложенными в базу данных эталонами. Основным отличием всех алгоритмов является именно вычисление признаков, в то время как алгоритмы обнаружения и сравнения эталонов могут быть одинаковыми.

Наиболее популярными алгоритмами распознавания лиц сегодня являются следующие: метод гибкого сравнения на графах, метод главных компонент, метод Виолы-Джонса, метод опорных векторов, метод формирования штрих-кодов по изображению лица.

Суть метода гибкого сравнения на графах [5] заключается в представлении лиц в виде графов со взвешенными вершинами и ребрами. На этапе распознавания один из графов является эталонным и остается неизменным, другой же деформируется с целью наилучшей подгонки к первому. Для вычисления значений признаков в некоторой локальной области вершины графа путем свертки значений яркости пикселей используются фильтры Габора. Ребра графа взвешиваются расстояниями между смежными вершинами. Различие между двумя графами вычисляется при помощи некоторой ценовой функции деформации, учитывающей различие между значениями признаков, вычисленными в вершинах, так и степень деформации ребер графа. Деформация графа происходит путем смещения каждой из его вершин на некоторое расстояние в определенных направлениях относительно ее исходного местоположения и выбора такой ее позиции, при которой разница между значениями признаков (откликов фильтров Габора) в вершине деформируемого графа и соответствующей ей вершине эталонного графа будет

минимальной. Данная операция выполняется поочередно для всех вершин графа до тех пор, пока не будет достигнуто наименьшее суммарное различие между признаками деформируемого и эталонного графов. Значение ценовой функции деформации при таком положении деформируемого графа и будет являться мерой различия между входным изображением лица и эталонным графом. Данная «релаксационная» процедура деформации должна выполняться для всех эталонных лиц, заложенных в базу данных системы. Результат распознавания системы – эталон с наилучшим значением ценовой функции деформации. Недостатками метода являются высокая вычислительная сложность процедуры распознавания, а также линейная зависимость времени работы от размера базы данных лиц.

Главная идея метода главных компонент [6] состоит в представлении изображений лиц в виде набора главных компонент изображений, называемых собственными лицами. Собственные лица имеют свойство, заключающееся в соответствии векторов лицеподобным формам. Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы, которая рассчитывается из изображений. Сумма главных компонент, умноженных на соответствующие собственные вектора, является реконструкцией изображения. Для каждого изображений лица вычисляются от 5 до 200 главных компонент. Процесс распознавания заключается в сравнении главных компонент неизвестного изображения с компонентами всех известных изображений. При этом изображения, соответствующие одному человеку, сгруппированы в кластеры. Из базы данных выбираются изображения-кандидаты, имеющие наименьшее расстояние от входного изображения.

Алгоритм Виолы-Джонса [7] использует метод скользящего окна. Рамка с размером, меньшим, чем исходное изображение, двигается с некоторым шагом по изображению, и с помощью каскада слабых классификаторов определяет, есть ли в рассматриваемом окне лицо. В качестве признаков для алгоритма распознавания используются вейвлеты Хаара. Перед распознаванием необходимо обучить алгоритм на тестовой выборке. После обучения имеется обученная база знаний из слабых классификаторов. Для каждого классификатора известны: признак Хаара, использующийся в этом классификаторе, его положение внутри окна размером 24×24 пикселя и значение порога. При распознавании алгоритм сканирует изображение на нескольких масштабах скользящего окна, начиная с базовой шкалы: размер окна 24×24 пикселя и 11 масштабов, при этом каждый следующий уровень в 1.25 раза больше предыдущего. После этого классификатор выносит решение о том, присутствует ли в рассматриваемом окне искомым шаблон или нет. Необходимо учитывать тот факт, что обучение алгоритма занимает длительное время и требует большое количество тестовых изображений.

Применение метода опорных векторов [8, 22] к задаче обнаружения лица заключается в поиске гиперплоскости в признаковом пространстве, отделяющий класс изображений лиц от изображений «не-лиц». Возможность линейного разделения столь сложных классов, как изображения лиц и «не-лиц» представляется маловероятной. Однако, классификация с помощью опорных векторов позволяет использовать аппарат ядерных функций для неявного проецирования векторов-признаков в пространство потенциально намного более высокой размерности (еще выше, чем пространство изображений), в котором классы могут оказаться линейно разделимы. Неявное проецирование с помощью ядерных функций не приводит к усложнению вычислений, что позволяет успешно использовать линейный классификатор для линейно неразделимых классов. Метод опорных векторов является мощным классификатором, применяемым на этапе распознавания лиц, при этом обучение алгоритма может происходить любым из существующих методов обнаружения лица на изображении.

Идея метода формирования штрих-кодов [9] по изображению лица состоит в использовании информации о человеческом лице, содержащейся в горизонтальных линиях, таких как линия бровей, глаз и губ. Эту информацию можно представить в виде набора черных и белых линий, т.е. в виде некоторого бинарного кода, который называют «биологическим штрих-кодом». Показано, что с помощью такого кода может производиться идентификация людей. Исходное изображение, представленное в шкале GRAY, имеет размер $M \times N$, и задачей является

представление этого изображения в форме стандартного штрих-кода EAN-8. Первоначальная экстракция признаков из исходного изображения основана на процедуре вычисления разностных градиентов яркости двух зеркально расположенных окон высотой $H \geq 1$ пикселей и длиной, равной ширине исходного изображения. Окон синхронно скользят по изображению лица с шагом $S \geq 1$. На каждом шаге скольжения вычисляются расстояния (например, в евклидовой метрике) между соответствующими областями изображений, «накрываемых окнами». Скольжение окон производится в области интереса, определяемой $\frac{3}{4}$ области лица. При этом скольжение окон начинается практически на границе «волосы/лоб», а заканчивается на нижней границе области носа или под ним. Разностные градиенты в окнах, преобразованные в расстояния, подчеркивают перепады значений яркости на границе волосы/лоб, границах линии бровей, линии глаз и линии нос/губы – т.е. именно по линиям «биологического кода лица». Вычисленные значения расстояний представляют, таким образом, интегральную характеристику наименее изменяемой части лица в условиях заметной динамики параметров изображений с лицами. В исходном положении два окна U и D , состоящие из H строк каждое, расположены зеркально относительно оси X . Всего выполняется $T = L \times A$ шагов скольжения, причем L – длина кода, а A – интервал усреднения, определяемый числом признаков, по которым производится их усреднение. После этого определяется расстояние между окнами в евклидовой метрике. Полученный результат представляется в виде плавной кривой. Далее результат поступает на вход кодера признаков, где осуществляется его нормирование. Полученные значения усредняются на временном интервале A и квантуются в диапазоне десятичных цифр от 0 до 9 с помощью масштабного множителя. Таким образом достигается представление вектора расстояний в форме десятичного кода заданной длины. Полученные значения поступают на вход блока генератора штрих-кода, где формируется окончательный штрих-код, состоящий из 8 цифр. Здесь используется стандартный алгоритм EAN-8.

Приведенные методы распознавания лиц на изображениях показывают примерно одинаковые показатели точности распознавания в нормальных условиях (захват портрета в анфас при нейтральном выражении лица с требуемым уровнем освещенности и отсутствии шумов), как правило, заданных разработчиками для обеспечения стабильности съемки. Однако в реальных системах аутентификации достаточно сложно выполнить эти требования. Поэтому сравнение методов распознавания будем проводить в условиях влияния динамики лиц, изменения яркости, наличия шумов и поворотов лица, а также старения лиц. Проведенный анализ эффективности рассматриваемых алгоритмов распознавания представлен в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эффективности алгоритмов распознавания лиц в различных условиях работы

Table 1

Results of effectiveness of facial recognition algorithms in different working conditions

Алгоритм \ Условия	Метод формирования штрих-кодов [9]	Метод гибкого сравнения на графах	Метод главных компонент	Метод Виолы-Джонса	Метод опорных векторов
Динамика лиц	100%	90% [12]	75% [13]	98% [10]	97% [15]
Изменение яркости 20%/40%	82%/50%	53%/- [20]	50% [16]	72%/70% [18]	55%/39% [18]
Наличие шумов и поворот лица в плоскости XY	78%	81% [11]	86% [17]	94% [19]	80% [14]
Старение лиц	100%	-	50% [21]	-	-

Представленные результаты исследований показывают, что метод формирования штрих-кодов обладает лучшими показателями по сравнению с другими алгоритмами по критериям

динамики лиц, изменению яркости и старению лиц. По критерию наличия шумов и поворота лица в плоскости XY данный алгоритм немного уступает оппонентам. Необходимо отметить, что исследования по влиянию старения лиц на точность распознавания лиц проводились лишь для двух методов из представленных, при этом для метода формирования штрих-кодов моделировалось изменение возраста от 20 до 60 лет. Высокая эффективность распознавания по данному критерию обеспечивает отсутствие необходимости в периодическом обновлении базы данных пользователей, что для ряда представленных алгоритмов приводит к необходимости переобучения классификаторов. Такая процедура в зависимости от мощности аппаратного обеспечения и количества пользователей может занимать от 1 часа до суток, что повлияет на непрерывность аутентификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ популярных методов распознавания лиц показал, что на эффективность распознавания данных алгоритмов существенное влияние оказывают следующие факторы: динамика лиц, изменение яркости, наличие шумов и поворот лица, старение лиц. Необходимость учета этих факторов обусловлена невозможностью обеспечить идеальные условия съемки. Сравнение рассматриваемых алгоритмов по эффективности распознавания в условиях воздействия указанных факторов выявило существенное превосходство метода формирования штрих-кодов над другими алгоритмами распознавания. В частности, существенным является тот факт, что данный метод показывает 100% эффективность при моделировании старения лиц. Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод, что в подсистеме многомодальной аутентификации на объектах информатизации необходимо применять метод распознавания лиц по штрих-кодам.

Список литературы

1. Кузнецов Д.А. Применение многомодальной аутентификации на объектах критической информационной инфраструктуры / Кузнецов Д.А., Дамм В.А., Кузнецов А.В., Басов О.О. // Научный результат. Информационные технологии. 2019. Том 4. Вып. 3. С. 48-55.
2. Никитин В.В. Модель и методика многомодальной аутентификации пользователя автоматизированной системы: Автореф... дис. канд. техн. наук. – Воронеж 2018. – 18 с.
3. Кузнецов Д.А. Классификация методов обнаружения и распознавания лица на изображении / Кузнецов Д.А., Никольский П.Г., Рачков Д.С., Кузнецов А.В., Хахамов А.П. // Научный результат. Информационные технологии. Т.4, №1, 2019.
4. Кахит Г. Разработка системы распознавания лиц / Кахит Г. Абдулкадир Е. [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/262875649_Design_of_a_Face_Recognition_System (дата обращения: 5.12.2019).
5. Васильева Е.В. Анализ современных подходов к узнаванию и распознаванию лиц // Васильева Е.В., Шестаков М.И., Лихачевский Д.В. // 54-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. 2018.
6. Померанцев А. Метод главных компонент / Померанцев А. // Российское хемометрическое общество. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca> (дата обращения: 5.12.2019).
7. Усилин С.А. Алгоритмическое развитие Виола-Джонсовских детекторов для решения прикладных задач распознавания изображений: Автореф... дис. канд. техн. наук. – Москва 2017. – 149 с.
8. Амосов О.С. Модифицированный алгоритм детекции лиц в видеопотоке и его программная реализация / Амосов О.С., Иванов Ю.С. // Науковедение. 2014. Вып. 3. С. 26.
9. Кухарев Г.А. Формирование штрих-кода по изображениям лиц на основе градиентов яркости / Кухарев Г.А., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л. // Научно-технических вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Вып. 3. С. 91.
10. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг., Спицин В.Г. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы-Джонса, вейвлет-преобразования и метода главных компонент / Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицин В.Г. // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320 № 5.

11. Лоренс В. Распознавание лиц с помощью метода гибкого сравнения на графах / Лоренс В., Джин-Марк Ф., Норберт К., Кристоф М. // [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/319877813_Face_Recognition_by_Elastic_Bunch_Graph_Matching (дата обращения 5.12.2019).
12. Левчук С.А. Исследование характеристик алгоритмов распознавания лиц / Левчук С.А., Якименко А.А. // Сборник научных трудов НГТУ. 2018. № 3-4. С. 40-58.
13. Синх А. Распознавание лиц с помощью метода главных компонент и характерных точек лица / Синх А., Кумар С. // Информатика и инженерия. Национальный технологический институт Роуркела. 2012.
14. Хейсел Б. Распознавание лиц с помощью метода опорных векторов: глобальный подход против основанного на компонентах / Хейсел Б., Пурди Х., Томасо П. // [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/2853265_Face_Recognition_with_Support_Vector_Machines_Global_versus_Component-based_Approach (дата обращения 5.12.2019).
15. Омар Ф. Распознавание лиц с помощью PCA и SVM / Омар Ф., Хасан А. // [Электронный ресурс] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/224599198_Face_recognition_using_PCA_and_SVM (дата обращения 5.12.2019).
16. Гончаров А.В. Влияние освещенности на качество распознавания фронтальных лиц / Гончаров А.В., Каркищенко А.Н. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008.
17. Мокеев А.В. Об эффективности распознавания лиц с помощью линейного дискриминантного анализа и метода главных компонент / Мокеев А.В. Мокеев В.В. // Бизнес-информатика. 2015. № 3(33). С. 44-54.
18. Шмаглит Л.А. Разработка и анализ алгоритмов распознавания лиц на телевизионных изображениях для биометрической идентификации / Шмаглит Л.А. // Автореферат дис. кан. тех. наук. Ярославль. 2014. С. 119.
19. Спицын В.Г. Распознавание лиц на основе метода главных компонент с применением вейвлет-дескрипторов Хаара и Добеши / Спицын В.Г., Болотова Ю.А., Шабалдина Н.В., Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг // Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». 2016. № 5. С. 103-112.
20. Peter N. Eigenfaces vs. Fisherfaces Recognition Using Class Specific Linear Projection / Peter N., Joao P., David J. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 19, no. 7. 1997.
21. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц // [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/>
22. Татаренков Д. А. Анализ методов обнаружения лиц на изображении // Молодой ученый. – 2015. – №4. – С. 270-276.

References

1. Kuznetsov D.A. Application of multimodal authentication at critical information infrastructure facilities / Kuznetsov D.A., Damm V.A., Kuznetsov A.V., Basov O.O. // Scientific result. Information technology. 2019. Volume 4. Issue. 3. – P. 48-55.
2. Nikitin V.V. Model and methodology of multimodal authentication of automated system user: Autoref... yew. edging. tech. Sciences. – Voronezh 2018. – 18 p.
3. Kuznetsov D.A. Classification of methods of detection and facial recognition on the image / Kuznetsov D.A., Nikolsky P.G., Rachkov D.S., Kuznetsov A.V., Khakhamov A.P. // Scientific result. Information technology. Т.4, No. 1, 2019.
4. Kakhit G. Development of facial recognition system / Kakhit G. Abdulkadir E. [Electronic resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/262875649_Design_of_a_Face_Recognition_System (data accessed 5.12.2019).
5. Vasilyeva E.V. Analysis of modern approaches to recognition and recognition of faces // Vasilyeva E.V., Shestakov M.I., Likhachevsky D.V. // 54th scientific conference of postgraduate students, masters and students of BGUIR. 2018.
6. Pomerantsev A. Method of main components / Pomerantsev A. // Russian Chemometric Society. [Electronic resource]. – Access mode: <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca> (data accessed 5.12.2019).
7. Energin S.A. Algorithms mic development of Viola-Jones detectors for solving applied problems of image recognition: Autoref... yew. edging. tech. Sciences. – Moscow 2017. – 149 p.

8. Amov O.S. Modified algorithm of detection of faces in video stream and its software implementation / Amov O.S., Ivanov Y.S. // Science. 2014. Issue. 3. – 26 P.
9. Kukharev G.A. Formation of barcode on images of faces on the basis of brightness gradients / Kukharev G.A., Matveev Yu.N., Schegoleva N.L. // Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics. 2014. Issue. 3. – 91 P.
10. Bui Thi Thu Chang, Fan Ngok Hoang., Spitsin V.G. Facial recognition based on application of Viola-Jones method, weavet transformation and main component method / Bui Thi Thu Chang, Fan Ngok Hoang., Spitsin V.G. // News University of Tomsky Tech. 2012. T. The 320th No. 5.
11. Lawrence B. Facial recognition using the flexible comparison method on the graphs / Lawrence B., Gene-Mark F., Norbert K., Christophe M. // [Electronic Resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/319877813_Face_Recognition_by_Elastic_Bunch_Graph_Matching (data accessed 5.12.2019).
12. Levchuk S.A. Study of characteristics of facial recognition algorithms / Levchuk S.A., Yakimenko A.A. // Collection of scientific works of NGTU. 2018. № 3-4. – P. 40-58.
13. Sinh A. Facial Recognition Using the Method of Principal Components and Characteristic Facial Points / Sinh A., Kumar S. // Informatics and Engineering. Rourkel National Institute of Technology. 2012. Burakov M.V. Neural networks and Neurocontrollers / Beets M. B. // Manual. SPb.: GUAP. 2013. – 284 P.
14. Heisel B. Facial Recognition Using Reference Vector Method: A Global Approach Against Component-Based / Heisel B., Purdy H., Tomaso P. // [Electronic Resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/2853265_Face_Recognition_with_Support_Vector_Machines_Global_vsus_Component-based_Approach (data accessed 5.12.2019).
15. Omar F. Facial Recognition with PCA and SVM / Omar F., Hassan A. [Electronic Resource] ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/224599198_Face_recognition_using_PCA_and_SVM (data accessed 5.12.2019).
16. Goncharov A.V. Influence of illumination on the quality of recognition of frontal faces / Goncharov A.V., Karkishchenko A.N. // Izvestia YUFU. Technical sciences. 2008.
17. Mokeev A.V. On Effectiveness of Facial Recognition Using Linear Discriminant Analysis and Method of Main Components / A.V. Mokeev V.V. // Business informatics. 2015. № 3(33). – P. 44-54.
18. Shmaglit L.A. Development and analysis of facial recognition algorithms on television images for biometric identification. / Shmaglit L.A. // Autoreferat dis. Caen. those. sciences. Yaroslavl. 2014. – 119 P.
19. Spitsin V.G. Facial Recognition Based on the Method of Principal Components Using the Wawlet Descriptor Haar and Dobeshi. / Spitsin V.G., Bolotov Yu.A., Shabaldina N.V., Bui Thi Thu Chang, Fan Ngok Hoang // National Nuclear Research University "M." 2016. № 5. – P. 103-112.
20. Peter N. Eigenfaces vs. Fisherfaces Recognition Using Class Specific Linear Projection. / Peter N., Joao P., David J. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 19, no. 7. 1997.
21. Analysis of existing approaches to facial recognition // [Electronic resource] URL: <https://habr.com/ru/company/synesis/blog/238129/>
22. Tatarenkov D. A. Analysis of methods of detecting faces on the image // Young scientist. – 2015. – № 4. – P. 270-276.

Кузнецов Денис Андреевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Дамм Виктор Александрович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Трегубов Роман Борисович, доктор технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

Kuznetsov Denis Andreevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Damm Victor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

Tregubov Roman Borisovich, doctor of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

УДК 004.42

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-2

Самхарадзе К.К.¹
Михелев В.М.²

**АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ЛИМФОЦИТОВ
НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ КЛЕТОК КРОВИ**

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

²⁾ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

e-mail: koba2111@mail.ru, vm.mikhelev@gmail.com

Аннотация

Данная статья посвящена разработке компьютерной системы, предназначенной для исследования типа лейкоза крови на основе анализа рельефа поверхности лимфоцитов на трехмерных изображениях клеток крови. Реализация алгоритма в рамках данной разработки заключается в определении морфометрических параметров поверхностных структур лимфоцитов, определение которых является важным фактором в диагностике заболевания крови. В последнее время актуальным является исследование рельефа поверхности лимфоцитов на трехмерных изображениях клеток крови, полученных с использованием технологий атомно-силовой микроскопии. Результаты первоначального сканирования посредством электронного микроскопа математически обрабатываются с помощью специально созданного для данного диагностического оборудования программного обеспечения. Однако, существующие программные продукты, поставляемые вместе с оборудованием, не предоставляют возможности осуществить поиск характерных для поверхности лимфоцитов глобулярных впадин и выступов, морфометрические показатели которых при патологии динамически изменяются. В связи с этим возникает необходимость в разработке специальной компьютерной системы, способной автоматизировать процесс исследования и анализа рельефа трехмерной поверхности клеток крови. Для ее реализации разработан алгоритм, с помощью которого на полученных посредством микроскопа трехмерных изображениях клеточной поверхности лимфоцитов можно осуществить автоматический поиск всех имеющихся на ней глобулярных впадин и выступов, начиная от микроскопических до визуально определяемых, а также их геометрических параметров.

Ключевые слова: компьютерная система; трехмерные изображения; морфометрическое исследование; геометрические параметры; клеточная поверхность; глобулярные впадины; глобулярные выступы.

UDC 004.42

Samkharadze K.K.¹
Mikhelev V.M.²

**ALGORITHM FOR DETERMINING MORPHOMETRIC PARAMETERS
OF SURFACE STRUCTURES OF LYMPHOCYTES ON IMAGES
OF BLOOD CELLS**

¹⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

²⁾ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

e-mail: koba2111@mail.ru, vm.mikhelev@gmail.com

Abstract

This article is devoted to the development of a computer system for studying the leukemia based on the analysis of the surface relief of lymphocytes in three-dimensional images of blood cells. The implementation of the algorithm in the framework of this development is to determine the morphometric parameters of the surface structures of lymphocytes, the determination of which is an important factor in the diagnosis of blood disease. Recently, relevant to solving this issue is the study of the surface relief of lymphocytes in three-dimensional images of blood cells obtained using atomic force microscopy technologies. The results of the initial scanning through a

microscope are mathematically processed using specially developed software for this diagnostic equipment. However, existing software products that come with the hardware they do not provide an opportunity to search for globular depressions and protrusions characteristic of the surface of lymphocytes, the morphometric parameters of which dynamically change during pathology. In this regard, there is a need for the development of a computer system, able to automate the process of research and analysis of the surface relief of blood cells. An algorithm has been developed for its implementation, with the help of which it is possible to automatically search for all globular depressions and protrusions present on it on a three-dimensional image of the cell surface of lymphocytes obtained through a microscope, from microscopic to visually detectable, as well as their geometric parameters.

Keywords: computer system; 3D images, morphometric examination; geometric parameters; cellular surface; globular depressions; globular protrusions.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день компьютерные технологии все чаще используются и активно внедряются в различные сферы деятельности, в том числе и медицину.

Важная роль компьютерных информационных технологий заключается в применении специализированных программ в области исследований, направленных на выявление трудно определяемых отклонений тех или иных показателей в лабораторных анализах пациента для установления точного диагноза.

Одним из трудноизлечимых заболеваний, которые часто приводит к летальному исходу, являются лейкозы – это опухолевое заболевание, развивающееся из кроветворных клеток с обязательным поражением костного мозга и вытеснением нормальных ростков кроветворения [8].

Лейкоз может развиваться как у взрослых, так и детей. Большинство лейкозов у детей – это острый лимфобластный лейкоз (ОЛЛ), в молодом возрасте – острый миелобластный (ОМЛ), хроническим миелобластным лейкозом (ХМЛ) страдают чаще люди среднего возраста, а в старческом возрасте – хроническим лимфоцитарным лейкозом (ХЛЛ) [19].

Предупреждение и выявление на более ранних стадиях данного типа заболевания является сложной задачей, так как на начальном этапе симптоматика скрыта или минимальна [21]. Но даже при наличии каких-либо симптомов диагностировать лейкоз из-за отсутствия характерных признаков невозможно.

Современная диагностика лейкозов должна основываться не только на клинических данных, но и комплексную оценку морфологических, цитохимических и других параметрах бластных клеток.

Широкое применение получили морфометрические методы исследований, которые способны существенно расширить доказательную базу различных патологических анатомий болезней и опухолей. Морфометрическое исследование подразумевает измерение или подсчет морфологических объектов, учет сведений о частоте появления какого-нибудь признака или же об изменении его морфологических особенностей [1, 2, 6].

Морфометрический метод исследования имеет большое практическое значение, обеспечивает реализацию новых методов диагностики и возможность сопоставления результатов, полученных разными авторами. Учитывая, что патологические процессы в основном представляют собой количественные изменения – изменяется диаметр структур, их объем, количество на единицу объема и т. д., получение этих данных является неотъемлемой частью любого серьезного исследования [3].

В последнее время биология и медицина развивается на принципах расширения и внедрения методов смежных наук, в том числе и компьютерных, диагностика заболеваний осуществляется с помощью лабораторных исследований с использованием персональных ЭВМ на базе специализированного программного обеспечения.

Компьютеризация методов и способов исследований в области медицины с помощью специализированных компьютерных систем, в том числе и диагностики функционального

состояния организма человека на клеточном уровне, способна обеспечить получение необходимых для исследования данных, повысить качество и скорость диагностики заболеваний.

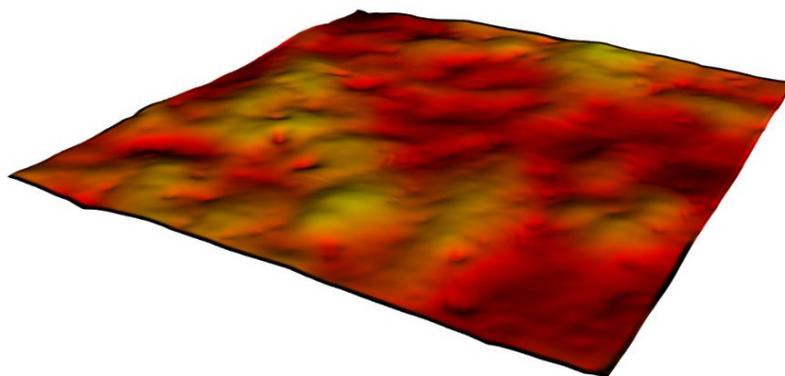
АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Учитывая, что лейкоз характеризуется поражением клеток крови, в котором участвуют лимфоциты, актуальным в исследовании и диагностики данного заболевания является статистическое изучение их морфометрических показателей с детализацией и классификацией морфологических изменений.

Интерес представляет изучение и исследование динамики рельефа поверхности лимфоцита, так как при различных патологиях происходят определенные изменения на функциональном уровне, что, в свою очередь, влияет на его морфологические свойства [4, 20, 23]. Такое исследование «позволит установить изменения структурно-функциональных свойств лимфоцитов на более ранней стадии заболевания, характерные для неопластической клетки и разработать терапевтические подходы, направленные на уничтожение аномальных клеток» [12].

В современной медицине исследования крови осуществляются с использованием технологий атомно-силовой микроскопии (АСМ) [5, 7, 16, 17].

При использовании данного метода были выявлены некоторые особенности рельефа поверхности лимфоцитов больных ОМЛ и ХМЛ, связанные с наличием глобулярных впадин и выступов (рис. 1), количество и размер которых меняется в зависимости от типа лейкоза [14].



*Рис. 1. Глобулярные впадины и выступы на поверхности лимфоцитов
Fig. 1. Globular protrusions and groove on the surface of lymphocytes*

Также доказано, что аналогичные изменения происходят на стадии лечения, поверхность рельефа сглаживается, что может стать свидетельством наступлении ремиссии [11, 15].

Таким образом, изучение и исследование динамики морфометрических показателей является весьма информативным, а результаты, полученные в результате анализа полученных при этом данных, могут оказывать большое влияние на выбор оптимальной стратегии лечения и на ее корректировку.

Однако, на сегодняшний день возможность проведения такого рода исследования с помощью существующих компьютерных программ частично отсутствует, а именно:

- в программном продукте Nova (NT-MDT, Россия) [9], поставляемом вместе с исследовательским оборудованием, основной задачей является визуализация исследуемого материала, а определение его морфологических особенностей на отсканированном изображении осуществляется на основе поперечного разреза, что с математической точки зрения не является информативным и может искажать результаты исследований. Причем при измерении геометрических характеристик поверхностных структур объекта, в данном случае глобулярных впадин и выступов на клеточной поверхности лимфоцитов, используется «ручной инструмент» (см. рисунок 2) [13], то есть процесс измерения величин не автоматизирован и порой может длиться несколько дней, и даже недель.



Рис. 2. Профиль бокового сечения лимфоцита в программе Nova

(AA₁ – внутренний графический инструмент для измерения длины и ширины участков скана)

Fig. 2. Lova cross-sectional profile in Nova

(segment AA₁ – is an internal graphic instrument for measuring of length and width of areas of scan)

Некоторая автоматизация присутствует в модульной программе анализа данных сканирующей зондовой микроскопии Gwyddion, выпущенной под лицензией GNU General Public License (GNU GPL) и поддерживаемой в настоящее время Чешским институтом метрологии (Czech Metrology Institute) [18], но в данном ПО решение более узких задач (таких, как исследование непосредственно поверхности элементов клетки крови) и выполнение рутинных процедур таких, как определение геометрических характеристик поверхностных структур элементов клетки крови) является сложным для исследователя-биолога процессом, хотя визуализация отсканированных изображений осуществляется на высоком уровне, что немаловажно для исследования.

В связи с этим возникла необходимость разработки компьютерной системы для исследования типа лейкоза на основе анализа рельефа трехмерной поверхности лимфоцитов на изображениях клеток крови, начальный этап проектирования которой был связан с реализацией алгоритма поиска и подсчета количества глобулярных впадин и выступов [10, 22].

Целью разработки является автоматизация и повышение точности и скорости расчетов необходимых для исследования типа лейкоза параметров поверхностных структур лимфоцитов на изображениях клеток крови.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ

На данном этапе разработки компьютерной системы необходимо выполнить следующие задачи:

1) обеспечить поиск микроскопических объектов: для специалистов-биологов представляют интерес не только глобулярные впадины и выступы, которые на полученных отсканированных изображениях видно явно, но и небольшие (микроскопические), находящиеся внутри них и которые визуально определить невозможно, но по своим специфическим признакам представляющие интерес для исследования и диагностики лейкозов;

2) разработать алгоритм измерения геометрических параметров глобулярных впадин и выступов на клеточной поверхности лимфоцита.

Под геометрическими параметрами подразумевается ширина, длина, глубина и высота исследуемых объектов.

Данные параметры определяются в результате работы алгоритма поиска:

а) ширина и длина определяется на основании геометрических параметров прямоугольной области, в которую можно поместить глобулярную впадину или выступ (см. рисунок 3);

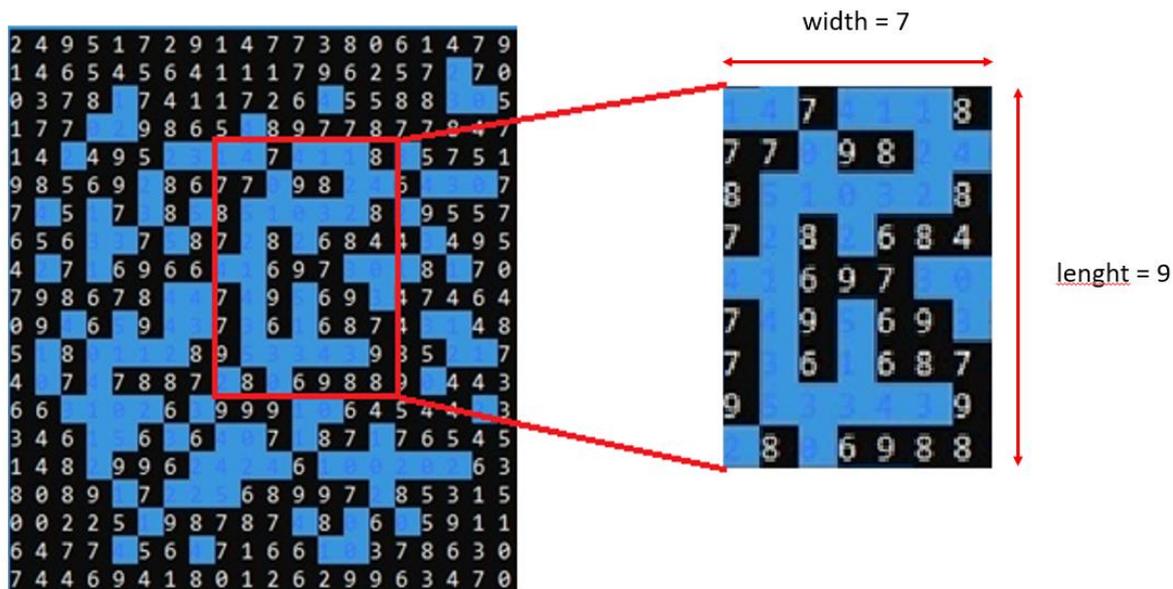


Рис. 3. Определение ширины и длины
Fig. 3. Definition of width and length

- б) глубина определяется разностью между «дном» впадины и точкой, высота которой является минимальной на внешнем контуре впадины;
- в) высота определяется разностью между «пиком» выступа и точкой, высота которой является максимальной на внешнем контуре выступа (см. рисунок 4).

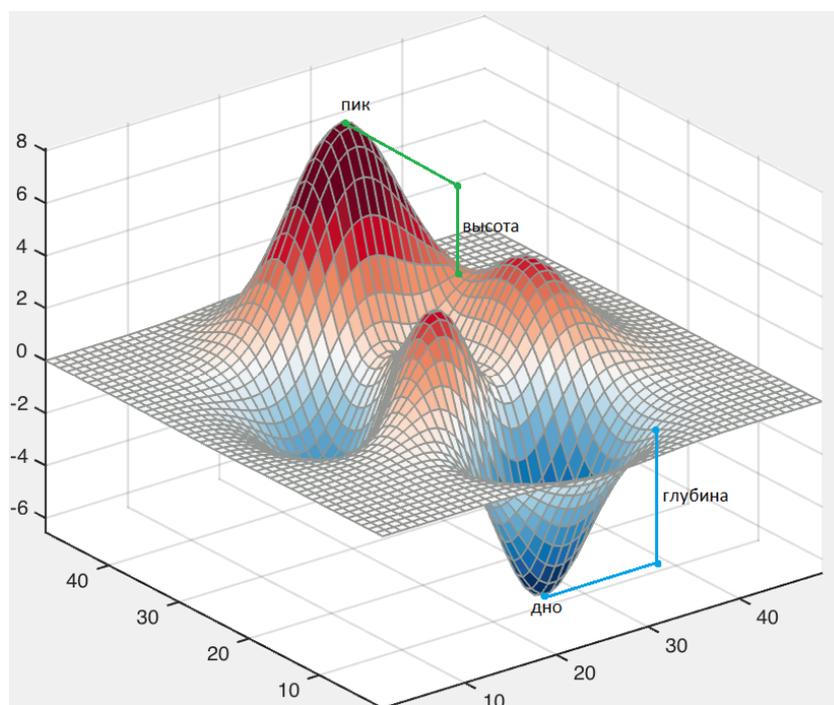


Рис. 4. Определение высоты и глубины
Fig. 4. Determination of height and depth

Итоговый показатель, который используется в дальнейшем исследовании, определяется в результате усреднения полученных соответствующих геометрических параметров по всем выбранным интересующим поверхностным структурам объекта.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

После выполнения поиска всех впадин и выступов на отсканированном изображении пользователь (биолог-исследователь) выбирает более узкую область исследования и затем опять осуществляет повторный поиск микроскопических объектов в локальной области (см. рисунок 5).

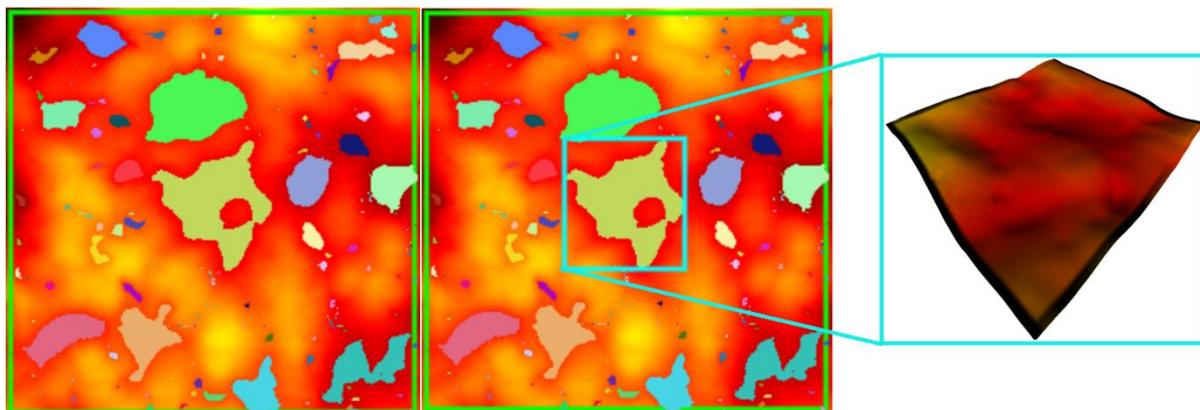


Рис. 5. Поиск впадин в локальной области исследования
Fig. 5. Search for troughs in a local area of study

На рисунке 5 показано, как в локальной области с помощью алгоритма выявлены внутренние микроскопические впадины.

Для выполнения второй задачи разработана функция определения геометрических параметров поверхностных структур объекта с выводом соответствующей таблицы (см. рисунок 6).

Длина, нм	Ширина, нм	Глубина, нм	Всего: 170 шт
81	74	25.2473	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
47	63	31.9734	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
44	55	23.6876	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
40	40	10.601	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

а)

Длина, нм	Ширина, нм	Высота, нм	Всего: 115 шт
149	165	6.92108	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
58	52	4.58156	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
27	23	1.9496	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
20	25	2.427	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>

б)

Рис. 6. Определение геометрических параметров:
а) глобулярные впадины; б) глобулярные выступы
Fig. 6. Determination of geometric parameters
a) globular troughs; b) globular protrusions

После осуществления выбора интересующих структур на поверхности объекта производится расчет усредненных значений (см. рисунок 7).

	Глобулярные впадины	Глобулярные выступы
Кол-во, шт	2	3
Длина, nm	62.500	78.000
Ширина, nm	64.500	80.000
Глубина/Высота, nm	24.467	4.484

*Рис. 7. Усредненные значения
Fig. 7. Averaged values*

Как показано на рисунках 6 и 7, с помощью разработанного алгоритма найдены 170 глобулярных впадин, 115 глобулярных выступов, определены их геометрические параметры и рассчитаны необходимые для исследования и анализа усредненные показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации компьютерной системы исследования типа лейкоза разработан алгоритм определения морфометрических параметров поверхностных структур лимфоцитов на изображениях клеток крови, который обеспечит автоматизацию процесса поиска и определения геометрических параметров глобулярных впадин и выступов, включая и микроскопические.

Разработанная компьютерная система позволит повысить качество исследований, ускорит диагностику заболевания, обеспечит своевременное применение необходимых методов лечения и как результат позволит организовать правильную терапию.

Важно отметить, что данные, полученные с помощью разработанного алгоритмического и программного обеспечения, повысят степень разрешения проблемы по исследованию типа лейкоза на основе анализа рельефа поверхности лимфоцитов на различных стадиях заболевания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-07-00133А.

Список литературы

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. Руководство. – М.: Медицина, 1990. 384 с.
2. Автандилов Г.Г. Морфометрия в развитии доказательной патологической анатомии / Г.Г. Автандилов // Материалы II Московской региональной научно-практической конференции (с международным участием) Цитоморфометрия в медицине и биологии: фундаментальные и прикладные аспекты. М. 2009. – С. 3-6.
3. Возможности гистоморфометрии в судебно-медицинской теории и практике / Ю.И. Пиголкин, И.Н. Богомолова, Д.В. Богомол, А.Х. Аманмурадов // Проблемы экспертизы в медицине. 2001. Т.1. № 4. – С. 31-35.
4. Динамические изменения рельефа поверхности лимфоцитов при снижении осмолярности среды / М.Ю. Скоркина, М.З. Федорова, Е.А. Сладкова, Л.А. Косьминова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 9 (128). – С. 95-103.
5. Использование технологий атомно-силовой микроскопии для оценки структуры и свойств поверхности клеток крови / М.Ю. Скоркина, А.А. Ярош, Е.А. Сладкова, Е.В. Зубарева, Е.А. Шамрай, Е.Е. Кротова // Научный результат. Серия «Физиология». 2015. Т.1, №4(6). – С. 23-26.
6. Менткевич Г.Л., Маякова С.А. Лейкозы у детей. М.: Практическая медицина, 2009. – 384 с.
7. Нагорнов Ю.С. Изучение биологических объектов методами атомно-силовой микроскопии. Тольятти: ТГУ, 2012. – 67 с.
8. Петровский Б.В. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ). Лейкозы. URL: <https://бмэ.орг/index.php/ЛЕЙКОЗЫ>
9. Программа управления СЗМ «Nova». Справочное руководство. URL: https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/manuals/Russian/nova.programma_upravleniya.pdf (дата обращения: 26.02.2019).

10. Самхарадзе К.К. Алгоритм определения типа лейкоза на основе анализа рельефа поверхности лимфоцитов на изображениях клеток крови / К.К. Самхарадзе, Д.С. Батищев, В.М. Михелев // Материалы XIX Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации». 2019. – С. 568-572/
11. Сладкова Е. А. Функциональные параметры и структура поверхности лимфоцитов больных лимфобластным лейкозом на стадии обострения и ремиссии болезни // Научный результат. Серия «Физиология». 2015. – Т.1, №1(1). – С. 19-25.
12. Сладкова Е. А. Цитоархитектоника и свойства поверхности лимфоцитов у здоровых людей (доноров) и при развитии лимфопролиферативных процессов на основе атомно-силовой микроскопии: Автореф. дис. ... канд. биолог. наук. Новосибирск, 2015. – 19 с.
13. Сладкова Е. А., Скоркина М. Ю. Структурно-функциональные особенности лимфоцитов больных лимфобластным лейкозом // Цитология. 2013. – Т. 55. – С. 388-393.
14. Шамрай Е. А. Упруго-эластические свойства и рельеф поверхности лимфоцитов больных острым и хроническим миелобластным лейкозом // Научный результат. Серия «Физиология». 2016. Т.2, №1(7). – С. 23-26.
15. Шамрай Е.А., Скоркина М.Ю., Сладкова Е.А. Механические свойства лимфоцитов при развитии хронических миелолипролиферативных процессов в системе крови // Журнал медико-биологических исследований. 2017. Т.5, № 3. С. 87-92.
16. Chen Y., Cai J. Y. Diseased red blood cells studied by atomic force microscopy // Int J Nanosc V. 1(5-6) (2002):683–688
17. Grandbois M., Dettman W., Benoit M., Gaube H. E. Affinity imaging of red blood cells using an atomic force microscope // J Histochem Cytochem. V. 48 (5) (2000): 719-724.
18. Klapetek P., Necas D., Anderson Ch. Gwyddion user guide URL: <http://gwyddion.net/download/user-guide/gwyddion-user-guide-en.pdf> (дата обращения: 25.02.2019).
19. Leukemia. American Cancer Society. URL: <https://www.cancer.org/cancer/leukemia-in-children.html> (дата обращения: 25.02.2019).
20. McMahon H. T., Gallop J. L. Membrane curvature and mechanisms of dynamic cell membrane remodeling // Nature. 2005. Vol. 438. P. 590-596.
21. Pan American Health Organization. Early Diagnosis of Childhood Cancer. Washington, DC: PAHO, 2014.
22. Ryabikh M. S., Batishchev D. S., Mikhelev V. M. Blood cell image analysis and processing method for leukemia typing/ American Scientific Journal. 2017. № 16. С. 14-19.
23. Sanchez D., Johnson N., Li C., Novak P., Rheinlaender J., Zhong V., Anand P. Noncontact measurements on the local mechanical properties of living cells using pressure applied via a pipette // Biophys. J. 2008. Vol. 95. P. 3017-3027.

References

1. Avtandilov G.G. Medical morphometry. Leadership. – М.: Medicina, 1990. 384 s.
2. Avtandilov G.G. Morphometry in the development of evidence-based pathological anatomy / G.G. Avtandilov // Proceedings of the II Moscow regional scientific-practical conference (with international participation) Cytomorphometry in medicine and biology: fundamental and applied aspects. М. 2009. P. 3-6.
3. The possibilities of histomorphometry in forensic theory and practice / Ju.I. Pigolkin, I.N. Bogomolova, D.V. Bogomolov, A.H. Amanmuradov // Problems of expertise in medicine. 2001. Т.1. № 4. P. 31-35.
4. Dynamic changes in the relief of the surface of lymphocytes with a decrease in the osmolarity of the medium / M.Ju. Skorkina, M.Z. Fedorova, E.A. Sladkova, L.A. Kos'minova // Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences. 2012. № 9 (128). P. 95-103.
5. The use of atomic force microscopy technologies to assess the structure and surface properties of blood cells / M.Ju. Skorkina, A.A. Jarosh, E.A. Sladkova, E.V. Zubareva, E.A. Shamraj, E. E. Krotova // Research result. Physiology. 2015. Т.1, №4(6). P. 23-26.
6. Mentkevich G. L., Majakova S. A. Leukemia in children. М.: Practical medicine, 2009. 384 p.
7. Nagornov Ju. S. The study of biological objects by atomic force microscopy. Tol'jatti: TGU, 2012. 67 p.
8. Petrovskij B. V. Medical Encyclopedia (BME). Leukemia. URL: <https://bmje.org/index.php/LEJKOZY>
9. Management program SPM «Nova». Reference guide. URL: https://www.ntmdt-si.ru/data/media/files/manuals/Russian/nova.programma_upravleniya.pdf (data accessed: 26.02.2019).
10. Samharadze K. K. Algorithm for determining the type of leukemia based on the analysis of the surface relief of lymphocytes on images of blood cells / К.К. Самхарадзе, Д.С. Батищев, В.М. Михелев // Materials of

the XIX International Scientific and Methodological Conference "Computer Science: Problems, Methodology, Technologies". Voronezh: Scientific Research Publications Publishing House. 2019. P. 568-572

11. Sladkova E. A. Functional parameters and surface structure of lymphocytes in patients with lymphoblastic leukemia at the stage of exacerbation and remission of the disease // Research result. Physiology. 2015. T.1, №1(1). P. 19-25.

12. Sladkova E A. Cytoarchitectonics and surface properties of lymphocytes in healthy people (donors) and in the development of lymphoproliferative processes based on atomic force microscopy: Avtoref. dis. ... kand. biolog. nauk. Novosibirsk, 2015. 19 p.

13. Sladkova E. A., Skorkina M. Ju. Structural and functional features of lymphocytes in patients with lymphoblastic leukemia // Citologija. 2013. T.55. P. 388-393.

14. Shamraj E. A. Elastic-elastic properties and surface relief of lymphocytes in patients with acute and chronic myeloid leukemia // Research result. Physiology. 2016. T.2, №1(7). P. 23-26.

15. Shamraj E.A., Skorkina M.Ju., Sladkova E.A. The mechanical properties of lymphocytes during the development of chronic myeloproliferative processes in the blood system // Journal of Biomedical Research. 2017. T.5, № 3. P. 87-92.

16. Chen Y., Cai J. Y. Diseased red blood cells studied by atomic force microscopy // Int J Nanosc V. 1(5-6) (2002): 683–688.

17. Grandbois M., Dettman W., Benoit M., Gaube H. E. Affinity imaging of red blood cells using an atomic force microscope // J Histochem Cytochem. V. 48 (5) (2000): 719-724.

18. Klapetek P., Necas D., Anderson Ch. Gwyddion user guide URL: <http://gwyddion.net/download/user-guide/gwyddion-user-guide-en.pdf> (data accessed: 25.02.2019).

19. Leukemia. American Cancer Society. URL: <https://www.cancer.org/cancer/leukemia-in-children.html> (data accessed: 25.02.2019).

20. McMahon H. T., Gallop J. L. Membrane curvature and mechanisms of dynamic cell membrane remodeling // Nature. 2005. Vol. 438. P. 590-596.

21. Pan American Health Organization. Early Diagnosis of Childhood Cancer. Washington, DC: PAHO, 2014.

22. Ryabikh M. S., Batishchev D. S., Mikhelev V. M. Blood cell image analysis and processing method for leukemia typing/ American Scientific Journal. 2017. № 16. – P. 14-19.

23. Sanchez D., Johnson N., Li C., Novak P., Rheinlaender J., Zhong V., Anand P. Noncontact measurements on the local mechanical properties of living cells using pressure applied via a pipette // Biophys. J. 2008. Vol. 95. P. 3017-3027.

Самхарадзе Коба Кобаевич, магистрант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Михелев Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Samkharadze Koba Kobaevich master student, Department of Mathematical and Software Information Systems

Mikhelev Vladimir Mikhaylovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Software and Automated Systems

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.056

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-3

Оладько В.С.

ИНЦИДЕНТЫ СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СИСТЕМЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Ленинградский просп., д. 49, г. Москва, 125993 (ГСП-3), Россия

e-mail: vsoladco@fa.ru

Аннотация

Современный период развития тесно связан с цифровой трансформацией различных отраслей деятельности и внедрением в Российской Федерации программы Цифровой экономики. Одним из факторов успешного внедрения и эффективного развития подобной социотехнической системы является обеспечение кибербезопасности объектов и субъектов в процессах обработки и передачи информации, получения цифровых услуг. Поскольку основой информационной инфраструктуры системы цифровой экономики является сетевая подсистема, то исследование проблем обеспечения ее безопасности является важной научно-практической задачей. Целью работы является разработка описательной модели инцидентов сетевой безопасности. Для достижения цели решаются частные задачи: определение требований к безопасности и доверию в системе цифровой экономики; анализ типовой модели сетевого взаимодействия в системе цифровой экономике; описание жизненного цикла инцидентов безопасности и анализ связи инцидента с рисками. Результатом исследования является создание карточки типовых инцидентов сетевой безопасности, которая может быть использована в процессе управления инцидентами безопасности, на этапе их идентификации и профилактики.

Ключевые слова: социотехническая система; угроза; кибербезопасность; инциденты безопасности; сетевая атака.

UDC 004.056

Oladko V.S.

NETWORK SECURITY INCIDENTS IN THE DIGITAL ECONOMY SYSTEM

Financial University under the Government of the Russian Federation,
49 Leningradsky prosp., Moscow, 125993 (GSP-3), Russia

e-mail: vsoladco@fa.ru

Abstract

The modern period of development is closely related to the digital transformation of various industries and the implementation of the Digital Economy program in the Russian Federation. One of the factors for the successful implementation and effective development of such a sociotechnical system is ensuring the cybersecurity of objects and entities in the processes of processing and transmitting information, and obtaining digital services. The study of the problems of ensuring its security is an important scientific and practical task, because the basis of the digital economy system is the network subsystem. The aim is to develop a descriptive model of network security incidents. To achieve the goal, the author solves particular problems: determining security requirements and trust in the digital economy system; analysis of a typical model of network interaction in the digital economy system; description of the life cycle of security incidents and an analysis of the association of the incident with the risks. The result of the study is

the creation of a card of typical network security incidents, which the author suggests using in the process of managing security incidents, at the stage of their identification and prevention.

Keywords: sociotechnical system; threat; cybersecurity; security incidents; network attack.

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество и государственная политика в различных отраслях деятельности характеризуется процессами активного развития социотехнических систем и трансформации цифровой экономики, целью является стимулирование цифрового производства, создание универсальных порталов и маркетплейсов для эффективного предоставления данных, продуктов и услуг, повышение их качества и совершенствование цифровых технологий и инфраструктуры. Согласно источникам [6, 9, 10] систему цифровой экономики можно разделить на хабы:

1. Государство и общество, включающее цифровое правительство, здравоохранение, образование, культуру и граждан – потребителей услуг.

2. Маркетинг и реклама, включая контент-маркетинг, контекстную, медийную, мобильную и видеорекламу.

3. Финансы и торговля, включая рынок электронной коммерции и онлайн-платежей, онлайн-тревел, онлайн-ритейл.

4. Инфраструктура и связь, включая рынки доменов, хостингов, SAAS, облачных технологий и хранилищ данных.

5. Медиа и развлечения, включая ИКТ-сектор и сектор контента и средств массовой информации.

6. Кибербезопасность.

7. Образование и кадры.

Каждый из представленных хабов представляет собой множество социотехнических систем и вносит вклад в трансформацию экономической системы Российской Федерации. Для выполнения целевых бизнес-процессов используется информационная инфраструктура, которая строится на базе веб-приложений, проводных и беспроводных сетей передачи данных, электронных платежных систем, современных информационно-коммуникационных технологий, включая большие данные, машинное обучение, системы распределённого реестра и блокчейн, квантовые технологии, промышленный интернет и интернет-вещей, виртуальную и дополненную реальность. От надежности и безопасности информационной инфраструктуры будет зависеть качество производимых цифровых товаров и услуг, а также степень доверия участников социотехнической системы цифровой экономики.

Актуальность проблем обеспечения безопасности цифровой экономике нашла свое отражение в работах таких российских ученых как Ершова Т.В., Горулев Д.А., Асаул В.В., Михайлова А.О., Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Ю. Авторами исследуются вопросы, связанные с выявлением сущности цифровой экономики, ее отраслевых элементов, их содержания в рамках современного цифрового общества; проблемами экономической безопасности, доверием и кибербезопасностью. В этом контексте недостаточно проанализированными остаются аспекты, связанные с анализом инцидентов информационной безопасности при сетевом взаимодействии субъектов и объектов цифровой экономики.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе автором в качестве объекта исследования была выбрана сетевая подсистема информационной инфраструктуры цифровой экономики. Предметом исследования – вопросы, связанные с обеспечением безопасности сетевого взаимодействия участников системы цифровой экономики.

Цель работы – разработать модель инцидентов сетевой безопасности. Поставленная цель работы обуславливает необходимость решения основных задач:

- определение требований к безопасности и доверию в системе цифровой экономики;
- анализ типовой модели сетевого взаимодействия в системе цифровой экономике;

- разработка модели инцидентов сетевой безопасности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основных методов исследования при выполнении работы были использованы: метод описания, системного анализа, элементы теории множества.

Требования к безопасности и доверию в системе цифровой экономики

Согласно Плану мероприятий по направлению «Информационная безопасность»¹ программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденному Правительственной комиссией, протокол от 18 декабря 2017 г. №2 взаимодействие и доверие субъектов в цифровой экономике невозможно без реализации мер и технологий обеспечения информационной безопасности на всех уровнях информационного пространства. Меры должны способствовать достижению целевых показателей и индикаторов безопасности и охватывать вопросы, связанные с безопасностью информационной инфраструктуры и повышением доверия граждан и бизнеса к цифровым технологиям и сервисам (рис. 1).



Рис. 1. Направления деятельности по обеспечению безопасности и доверия в цифровой экономике
Fig. 1. Security and trust areas in the Digital Economy

Направление обеспечения сетевой безопасности, охватывает вопросы контроля внутреннего и внешнего трафика субъектов и объектов, обеспечения безопасности функционирования российского сегмента сети Интернет, обнаружения и противодействия сетевым кибератакам, в том числе через IoT-устройства [18], предотвращения утечек информации ограниченного доступа [6], сегментации сети [8] и построения доверенных сред [6].

¹ План мероприятий по направлению «Информационная безопасность» программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержден Правительственной комиссией по использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности (протокол от 18 декабря 2017 г. №2). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tadviser.ru/images/5/53/AEO92iUpNPX7Aaonq34q6VxpANCY2umQ.pdf>

Типовая модель сетевого взаимодействия объектов системы цифровой экономики

Сетевая подсистема информационной инфраструктуры имеет распределённую клиент-серверную с выходом в сеть общего пользования, удалёнными веб-серверами, хранилищами данных и пользователями (см. рисунок 2), которая окружена существенной средой [11], порождающей угрозы безопасности случайного или умышленного характера.

Сетевое взаимодействие субъектов основывается на процессах передачи данных в виде множества пакетов, образующих сетевой трафик. Правила фрагментации и передачи описывает эталонная модель взаимосвязи открытых систем (модель OSI), которая представляет базис и содержит два [12-14] основных принципа (см. рис. 2):

- все открытые системы имеют многоуровневую архитектуру, включающую в себя семь уровней;
- для всех передаваемых данных проводится инкапсуляция/декапсуляция.

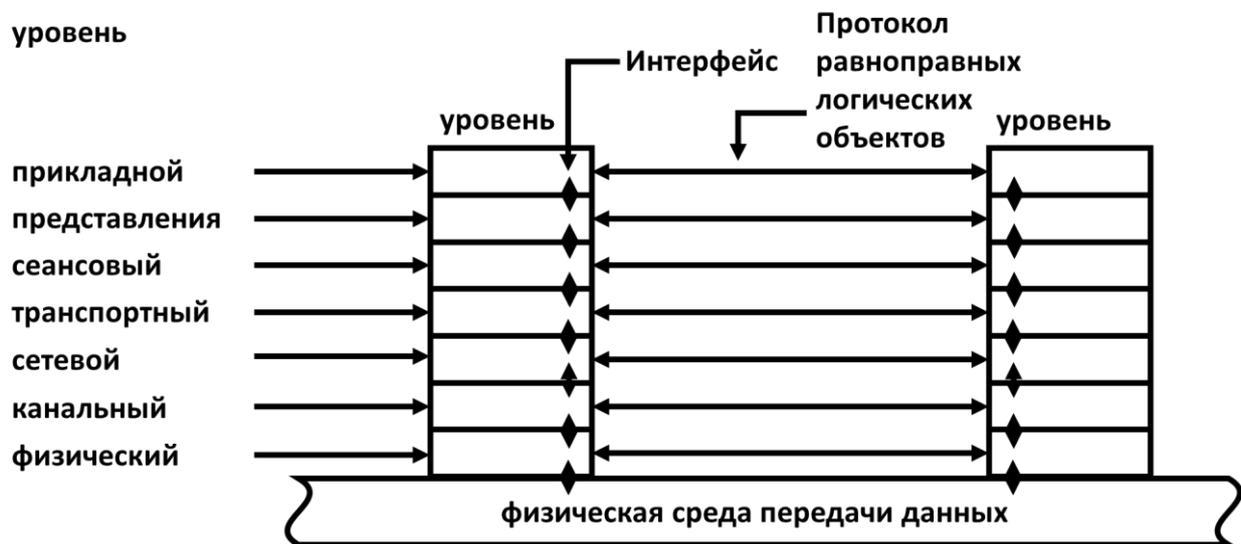


Рис. 2. Уровни модели OSI
Fig. 2. OSI model levels

Самым верхним является прикладной уровень, или уровень приложений. Самым нижним – физический, подразумевающий под собой физическую среду передачи данных. Все объекты сетевой подсистемы работают и взаимодействуют на одном или нескольких уровнях модели OSI.

Объекты сетевой подсистемы информационной инфраструктуры можно разделить на следующие группы [14]:

- оконечное оборудование (устройства субъектов цифровой среды, сервера, системы хранилищ данных);
- передающие устройства (коммуникационное оборудование);
- среда передачи.

Оконечное оборудование – устройство, которое генерирует сетевой трафик субъектов в процессе взаимодействия. К ним относятся стационарные и мобильные устройства, на которых запущены приложения и сервисы.

Передающие устройства можно классифицировать по уровню эталонной модели взаимодействия открытых систем (модель OSI), на котором они работают [12]:

- (физический уровень) – концентратор;
- (канальный) – коммутатор;
- (сетевой) – маршрутизатор, L3-коммутатор.

Каждое устройство выполняет задачи передачи данных и поддержки сетевого взаимодействия субъектов и объектов на своем уровне.

Среда передачи данных, реализуется посредством простых и составных каналов связи, использующих направляющие структуры трех основных типов:

- медные линии передачи (коаксиальный кабель, витая пара);
- оптические линии передачи (оптоволоконный кабель);
- беспроводная/радиоэфир (wi-fi, Bluetooth, NFC и т.д.).

Таким образом, процесс сетевого взаимодействия субъектов в информационной инфраструктуре можно описать кортежем (формула 1).

$$\langle S, R, P, C \rangle, \quad (1)$$

где S – множество субъектов (оконечных устройств) отправителей данных; R – множество субъектов (оконечных устройств) получателей данных; P – множество пакетов, циркулирующих от отправителя к получателю при сетевом взаимодействии; C – успешное или неуспешное (заблокированное) соединение отправителем и получателем, принимает значения согласно формуле 2.

$$C = \begin{cases} established, & \text{соединение установлено} \\ not\ established, & \text{соединение не установлено} \\ blocked, & \text{соединение заблокировано} \end{cases} \quad (2)$$

Успешное соединение между узлами сети (состояние *established*) обеспечивает выполнение запросов и непрерывность бизнес-процессов объектов системы цифровой экономики. Блокировка соединения или сбой при установлении соединения указывают на проблемы сетевого взаимодействия, наиболее частыми причинами которых являются технические отказы оборудования [13], ошибки конфигурации [17] или успешная реализация угрозы информационной безопасности [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инциденты безопасности

Под угрозой сетевой безопасности информационной инфраструктуры будет пониматься потенциально возможное сетевое событие, процесс или явление, которое посредством воздействия на данные (сетевой трафик) или объекты может прямо или косвенно привести к нанесению ущерба субъектам сетевого взаимодействия. Сетевая угроза безопасности в случае своего развития становится сетевой атакой, которая при успешной реализации приведет к вторжению и возникновению инцидента сетевой безопасности. Появление инцидента повышает вероятность реализации риска различного вида (см. рис. 3).

Согласно [20] инциденты не происходят по одному, а представляют поток одиночных, размножающихся и взаимодействующих инцидентов, которыми не всегда возможно сразу обнаружить и устранить, чем позже будет выявлен инцидент и приняты меры по его устранению, тем выше будет трудоемкость процесса (см. рис. 4).

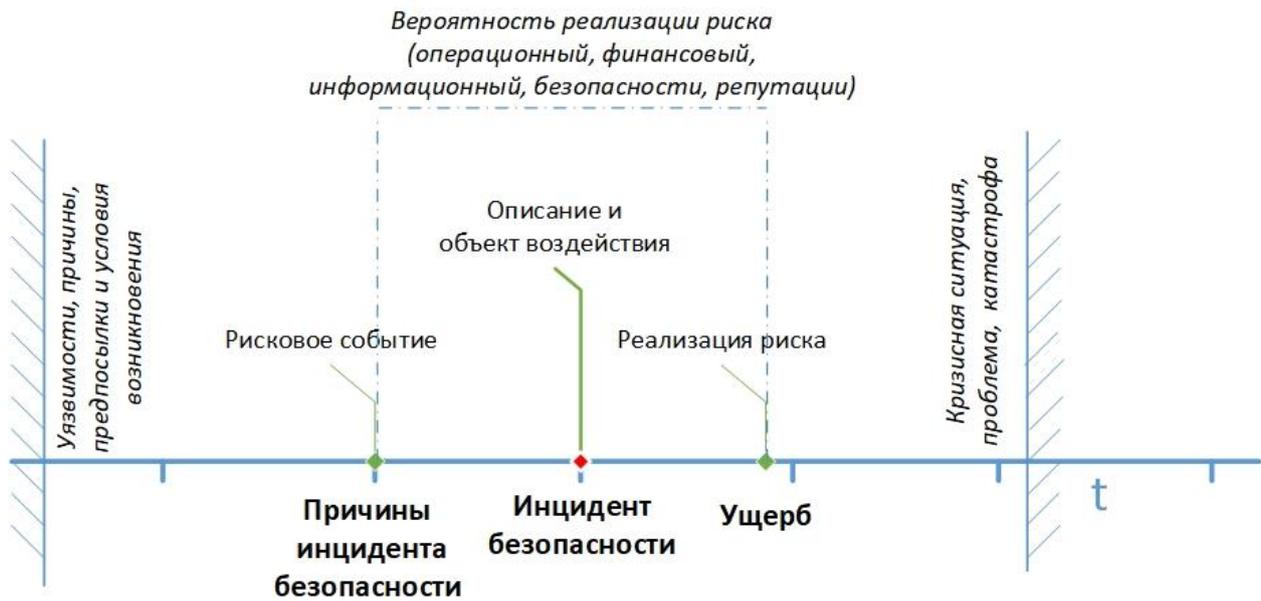


Рис. 3. Соотношение риска и инцидента безопасности
Fig.3. Ratio of risk and security incident

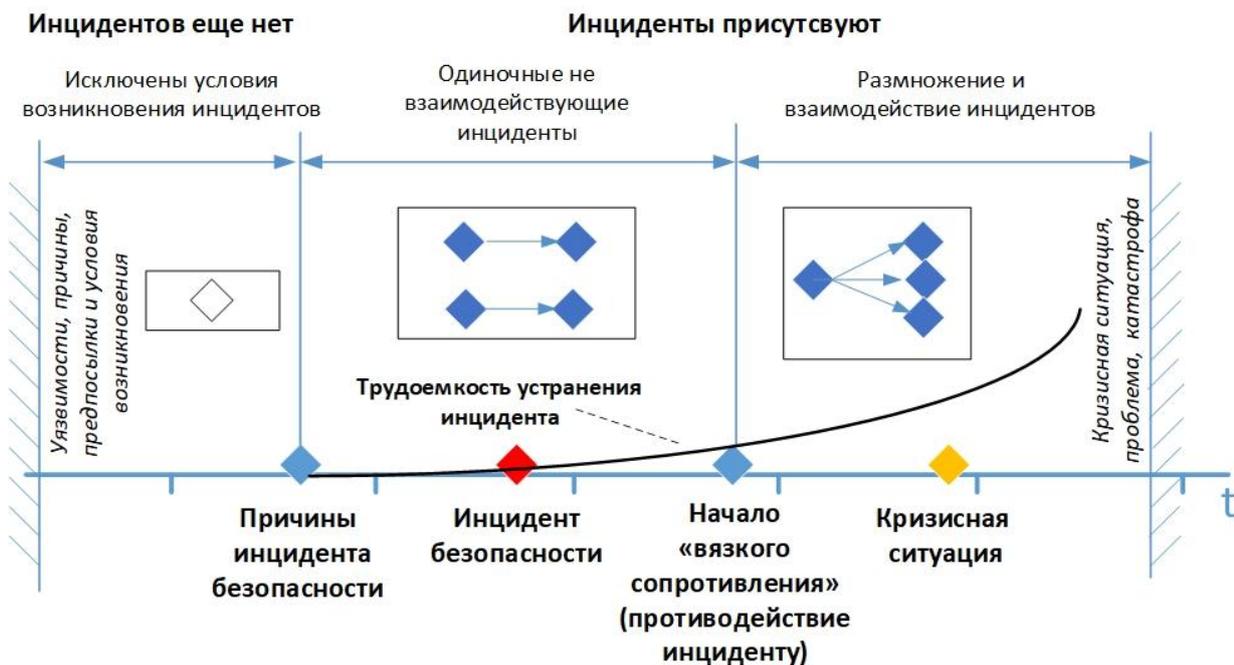


Рис. 4. Трудоемкость устранения инцидента безопасности на разных этапах жизненного цикла
Fig.4. Complexity of eliminating a security incident at different stages of the life cycle

Поэтому крайне важно выявлять предпосылки возникновения инцидентов и проводить комплекс мероприятий, которые исключают возникновение причин, порождающих инциденты, а это невозможно без решения задачи предварительной идентификации инцидента и его описания.

Разработка модели инцидентов сетевой безопасности

Таким образом, при построении описательной модели инцидентов сетевой безопасности необходимо выявить наиболее распространенные инциденты, анализ источников [3, 7, 11, 15] показывает, что основными видами инцидентов сетевой безопасности являются:

- реализация Dos/DDos-атак различного типа;
- использование специализированных вредоносных программ (вирусов, sniffеров, троянских коней, почтовых червей, rootkit-ов и т.д.);
- сетевая разведка;
- IP-спуфинг;
- man-in-the-middle;
- инъекции (SQL-инъекция, PHP-инъекция, межсайтовый скриптинг или XSS-атака, XPath-инъекция);
- phishing-атаки;
- отказ и повреждение технических и программных средств информационной инфраструктуры;
- повреждение каналов и линий связи.

Модель инцидентов позволяет выделить объект воздействия угрозы, описать возможные последствия и факторы, влияющие на вероятность ее реализации. В таблице представлена модель инцидентов сетевой безопасности для небольшой социотехнической системы цифровой экономики.

Таблица

Описание типовых инцидентов сетевой безопасности социотехнической системы

Table

Description of typical network security incidents of a socio-technical system

№	Наименование	Описание и объект воздействия	Последствия	Предпосылки и причины возникновения
1	Dos/DDos-атаки различного типа	генерация трафика для переполнения буфера и превышения допустимых пределов функционирования сети, блокирования сетевых служб Объекты: оконечные устройства, сетевое оборудование, сетевые службы	Прерывание бизнес-процессов, нарушение доступности данных и служб	Отсутствие фильтрации трафика, систем обнаружения и предотвращения вторжений
2	использование специализированных вредоносных программ	Заражение оконечных устройств и сетевого оборудования вредоносным ПО Объекты: оконечное оборудование и сетевые устройства	Утечка и нарушение целостности и доступности данных, нарушение непрерывности функционирования	Отсутствие антивирусных средств защиты,
3	сетевая разведка	несанкционированное сканирование и сбор информации о сети с помощью общедоступных данных и приложений. проводится в форме	утечка информации, сбор нарушителем данных для реализации целевой атаки	разрешенные ICMP запросы и эхо-ответ на периферийных маршрутизаторах. отсутствие

№	Наименование	Описание и объект воздействия	Последствия	Предпосылки и причины возникновения
		запросов DNS, эхо-тестирования и сканирования портов. Объекты: оконечные устройства, сетевое оборудование		межсетевое экранирование Не использование систем обнаружения вторжений
4	man-in-the-middle	Несанкционированное сканирование, перехват и анализ сетевого трафика, передаваемого между субъектами Объекты: транспортные протоколы и протоколы маршрутизации сетевого и оконечного оборудования	Утечка информации, получение несанкционированного доступа к частным сетевым ресурсам, искажение передаваемых данных и ввод несанкционированной информации в сетевые сессии	Отсутствие шифрования сетевого трафика
5	Иньекции	Несанкционированное внедрение специально сформированных сценариев и команд в код Объекты: базы данных, веб-приложения, оконечное оборудование	Утечка информации, нарушение доступности и целостности	Отсутствие контроля над выражениями и проверки вводимых данных, возможность несанкционированной загрузки файлов, уязвимости
6	phishing-атаки	процесс обмана или социальная разработка клиентов организаций для последующего воровства их идентификационных данных и передачи их конфиденциальной информации для несанкционированного использования Объекты: субъекты сетевого взаимодействия	Утечка информации	Отсутствие антивирусных средств, использование непроверенных ресурсов
7	IP-спуфинг	маскировка злоумышленника под санкционированного пользователя, ограничивается вставкой ложной информации или вредоносных команд в обычный поток данных, передаваемых между клиентским и серверным приложением или по каналу связи между	утечка информации, подрыв доверия к субъектам сетевого взаимодействия	Отсутствие контроля доступа, криптографической аутентификации и фильтрации трафика

№	Наименование	Описание и объект воздействия	Последствия	Предпосылки и причины возникновения
		одноранговыми устройствами. Объекты: Таблицы маршрутизации, сетевое оборудование		
8	отказ и повреждение технических и программных средств информационной инфраструктуры	Нарушение работоспособности технических и программных средств, снижение показателей надежности Объекты: оконечное оборудование, сетевое оборудование	Прерывание бизнес-процессов, нарушение доступности данных и служб	Несвоевременное обслуживание и ремонт, отсутствие резервирования и избыточности
9	повреждение каналов и линий связи	Нарушение и блокирование процесса передачи информации, потеря данных Объекты: среда передачи	Прерывание бизнес-процессов, нарушение доступности данных и служб	Несвоевременное обслуживание и ремонт, отсутствие резервирования и избыточности

Каждый инцидент влечет операционные, финансовые, информационные и репутационные риски, обусловленные [18, 19]:

- возможностью удаленного администрирования и управления сетевым оборудованием и серверами;
- наличием круглосуточно доступных удаленных сервисов, баз данных и каналов обслуживания;
- использованием открытых, уязвимых сетевых протоколов передачи данных;
- небезопасной конфигурацией и ошибками в конфигурации объектов информационной инфраструктуры;
- регулярным доступом к услугам и сервисам множества субъектов;
- ростом числа уязвимостей программного обеспечения (системного, прикладного, в том числе и средств защиты) и использованием компонентов с известными уязвимостями;
- несвоевременным закрытием уязвимостей и обновлением программного-аппаратного обеспечения;
- небезопасной десериализацией данных и ошибками в коде сетевых сервисов и веб-приложений;
- слабыми паролями, утерей аутентификаторов, некорректной аутентификацией и управлением сессией;
- привязкой счетов карт и вкладов к интернет-банку и платежным сервисам;
- низкой информационной грамотностью или некомпетентностью некоторых категорий субъектов сетевого взаимодействия;
- незащищенным хранением личных данных субъектов сетевого взаимодействия;
- отсутствием некоторых подсистем защиты информации, например, контроля утечки информации, межсетевого экранирования, обнаружения атак и регистрации событий безопасности.

Реализуемые нарушителем угрозы могут проявляться в виде аномалий сетевого трафика определенного вида [2,16] и/или иметь явную сигнатуру и признаки сетевой атаки [4]. Для противодействия инцидентам и их последствиям необходимо использовать методы и средства обеспечения сетевой безопасности, в частности межсетевые экраны с глубоким анализом пакетов, системы обнаружения вторжения, антивирусные средства защиты. Источниками информации об рискованных событиях, составляющих сценарий развития инцидента безопасности являются журналы событий сетевых служб и сетевого оборудования, операционных систем, браузеров пользователей, средств защиты информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работая с потоком инцидентов безопасности, в динамичной социотехнической системе, важно уметь быстро обнаруживать инциденты, их идентифицировать, ранжировать и немедленно устранять срочные и опасные. Трудоемкость устранения инцидентов зависит от стадии жизненного цикла, на которой обнаружен инцидент, ведь чем раньше он будет обнаружен и локализован, тем меньшими последствиями и взаимодействием с другими инцидентами он будет обладать. Поэтому на этапе превентивных мер до начала «вязкого сопротивления инциденту» [1] нужно использовать описательные модели инцидентов и заполнять их карточки, что позволит более результативно проводить профилактику инцидентов и работать с ними в рамках системы управления.

В результате исследований были решены частные задачи:

- определены требования к безопасности и доверию в системе цифровой экономики Российской Федерации;
- проведен анализ типовой модели сетевого взаимодействия между объектами и субъектами в системе цифровой экономике;
- предложена описательная модель инцидентов сетевой безопасности.

Полученные в работе результаты могут быть использованы в рамках процедуры управления инцидентами, первыми этапами которой является идентификация инцидентов и их ранжирование по срочности и важности реакции на них:

- срочно устранять инцидент безопасности (высокий уровень риска);
- устранять инцидент безопасности в штатном режиме, постоянно проводя мониторинг состояния системы и контролирую последствия инцидента (средний уровень риска);
- отложить устранение инцидента, периодически контролируя его (средний низкий риска, приближенный к допустимому значению);
- игнорировать инцидент, принять сопутствующие ему риски (приемлемый риск).

Список литературы

1. Ананьин В. Сценарии управления инцидентами в разных моделях управления // Управляем предприятием. Особенности национального управления. М.: «Фирма 1 С». 2015 г. 41 с.
2. Бабенко А.А., Микова С.Ю., Оладько В.С. Разработка системы управления аномальными событиями информационной безопасности//Информационные системы и технологии. 2017. № 5 (103). С. 108-116.
3. Боршевников А. Е. Сетевые атаки. Виды. Способы борьбы [Текст] // Современные тенденции технических наук: материалы Междунар. науч. конф. (г. Уфа, октябрь 2011 г.). – Уфа: Лето, 2011. – С. 8-13. – URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/5/1115/> (дата обращения: 27.03.2019).
4. Гаврилова Е.А. Исследования методов обнаружения сетевых атак//Научные записки молодых исследователей. 2017. №4. С.55-58.
5. Горулев Д.А. Экономическая безопасность в условиях цифровой экономике // Техно-технологические проблемы сервиса. 2018. №3 (43). С. 77-83.
6. Ершова Т.В. Доверие и безопасность в цифровые экономики//Материалы форума Вольного экономического общества России «Цифровизация и национальная безопасность» (дата обращения: 06.03.2018).

7. Конарев И.И., Никишова А.В. Анализ методов обнаружения атак на WI-FI //В сборнике: Актуальные вопросы информационной безопасности регионов в условиях перехода России к цифровой экономике материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Волгоградский государственный университет. 2018. С. 28-32.
8. Логинов Е.Л., Райков А.Н. Цифровая экономика: уязвимость к сетевым атакам и возможности обеспечения устойчивости управления//Проблемы рыночной экономики. 2017. №4. С. 4-10.
9. Манахова И.В. Цифровое будущее и глобальная экономическая безопасность// Экономическая безопасность и качество. 2018. №1(30). С. 6-11.
10. Минзов А.С., Невский А.Ю., Баронов О.Ю. Информационная безопасность в цифровой экономике//ИТНОУ. 2018. №3. С.52-58.
11. Оладько В.С. Управление рисками непрерывности функционирования информационной инфраструктуры организации//Вестник компьютерных и информационных технологий. 2017. № 1(151). С. 44-56.
12. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 992 с.
13. Петухов К. В., Стригунов Ю. В., Денисенко С. Е. Методы оценки надежности локальных вычислительных сетей. Разработка проекта локальной вычислительной сети / Под общей редакцией К.В. Петухова. – Темрюк, 2017. – 86 с.
14. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.
15. Ananin E.V., Ananina I.S., Nikishova A.V. Examination of suspicious objects by virus analysts//Journal of Physics: Conference Series Ser. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Enterprise Information Systems" 2018. С. 042-042.
16. Ananin E.V., Nikishova A.V., Kozhevnikova I.S. Port scanning detection based on anomalies// 11th International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Dynamics 2017 Proceedings. 2017. С. 1-5.
17. Boughton N. Protecting the world of connected devices// Network Security Volume 2019, Issue 6, June 2019, Pages 11-13 doi: [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(19\)30072-8](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(19)30072-8)
18. Herbert S. Why IoT should make businesses rethink security// Network Security Volume 2019, Issue 7, July 2019, Pages 9-11. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(19\)30083-2](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(19)30083-2)
19. Oladko V.S. Cybersecurity issues in the implementation of the digital economy// Sochi Journal of Economy. 2018. Т. 12. № 1. С. 68-78.
20. Enterprise Risk Management – Integrated Framework. Executive Summary, 2004, Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO), AICPA.

References

1. Ananyin V. (2015), Scenarios of incident management in different management models, We manage the enterprise. Features of national governance. М.: "Firm 1 S", 4.
2. Babenko A.A., Mikova S.Yu., Oladko V.S., (2017), Development of a system for managing abnormal events of information security, Information Systems and Technologies, 5 (103), 108-116.
3. Borshevnikov A.E. (2011), Network attacks. Kinds. Ways of struggle, Modern trends in technical sciences: materials of Intern. scientific conf. (Ufa, October 2011), 8-13. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/5/1115/> (accessed: 03/27/2019).
4. Gavrilova E.A. (2017), Investigations of network attack detection methods, Scientific notes of young researchers, 4, 55-58.
5. Gorulev D.A. (2018), Economic security in the digital economy, Technical and technological problems of service, 3 (43), 77-83.
6. Ershova T.V. (2018), Trust and security in the digital economy, Materials of the forum of the Free Economic Society of Russia "Digitalization and National Security".
7. Konarev I.I., Nikishova A.V. (2018), Analysis of methods for detecting attacks on WI-FI, Actual issues of information security of regions in the context of Russia's transition to a digital economy, materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Volgograd State University, 28-32.
8. Loginov E.L., Raikov A.N. (2017), Digital economy: vulnerability to network attacks and the possibility of ensuring the sustainability of management, Problems of a market economy, 4, 4-10.
9. Manakhova I.V. (2018), Digital future and global economic security, Economic security and quality, 1 (30), 6 – 11.

- 10.Minzov A.S., Nevsky A.Yu., Baronov O.Yu. (2018), Information Security in the Digital Economy, ITNOU, 3, 52 – 58.
- 11.Oladko V. S. (2017), Risk management continuity of information infrastructure in the organization, Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy, 1 (151), 44-56.DOI: 10.14489/vkit.2017.01. pp. 044-052
- 12.Olifer V., Olifer N. (2016), Computer networks. Principles, technologies, protocols: Textbook for universities. 5th ed. – St. Petersburg: Peter, 992.
- 13.Petukhov K.V., Strigunov Yu. V., Denisenko S.E. (2017), Methods for assessing the reliability of local area networks. Development of a local area network project, Under the general editorship of K.V. Petukhov. – Temryuk, 86.
- 14.Tanenbaum E., Weatheroll D. (2012), Computer networks. 5th ed. – St. Petersburg: Peter, 960.
- 15.Ananin E.V., Ananina I.S., Nikishova A.V. (2018), Examination of suspicious objects by virus analysts, Journal of Physics: Conference Series Cep. "International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Enterprise Information Systems", 042-042.
- 16.Ananin E.V., Nikishova A.V., Kozhevnikova I.S. (2017), Port scanning detection based on anomalies, 11th International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines", Dynamics 2017 Proceedings, 1-5.
- 17.Boughton N. (2019), Protecting the world of connected devices, Network Security, 6, 11-13 doi: [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(19\)30072-8](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(19)30072-8)
- 18.Herbert S. (2019), Why IIoT should make businesses rethink security, Network Security, 7, 9-11, doi: [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(19\)30083-2](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(19)30083-2)
- 19.Oladko V.S. (2018), Cybersecurity issues in the implementation of the digital economy, Sochi Journal of Economy, 1(12), 68-78.
- 20.Enterprise Risk Management – Integrated Framework. Executive Summary, (2004), Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO), AICPA.

Оладько Владлена Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности

Oladko Vladlena Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Information Security Department

УДК 621.391.7; 519.876.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-4

Бузов П.А.¹
Тиняков О.А.²
Долинский А.А.¹
Зайцев А.Н.¹
Медведева Т.В.³

ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

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

²⁾ Курский государственный университет, ул. Радищева, д. 33, г. Курск, 305000, Россия

³⁾ Белгородский юридический институт Министерства внутренних дел РФ имени И.Д. Путилина, ул. Горького, д. 71, г. Белгород, 308024, Россия

e-mail: info@softconnect.ru, OATinya-kov@mail.ru, digrayman@yandex.ru, 433044@bsu.edu.ru, miss.tania1975@yandex.ru

Аннотация

Рассматривается отечественный программный инструмент имитационного моделирования организационно-деловых и производственно-технологических процессов UFOModeler в качестве инструмента повышения эффективности внедрения на предприятии системы менеджмента качества, а также ее сопровождения и аудита. В статье проводится анализ проблем разработки, внедрения и сертификации системы менеджмента качества согласно международному стандарту ISO 9001. Внедрение этого стандарта обусловлено важными преимуществами и выгодами, которые он приносит организации. Но стоит отметить, что не всегда внедрение стандарта помогает достичь намеченных целей результатов. Нужно совершенствовать процесс разработки и функционирования системы менеджмента качества (СМК) согласно ISO 9001 и осуществлять поддержку организаций в этом процессе. Таким образом, можно сделать вывод, что процесс эффективного функционирования системы менеджмента качества предполагает наличие соответствующего информационно-аналитического обеспечения бизнес-процессов организации. В качестве инструмента, позволяющего создать и структурировать информационно-аналитическое обеспечение, предлагается использовать метод системно-объектного имитационного моделирования и программный инструмент, автоматизирующий процедуры построения и анализа системно-объектных моделей процессов и систем.

Ключевые слова: системно-объектная модель; оптимизация модели; общесистемные принципы и закономерности; UFOModeler; система менеджмента качества.

UDC 621.391.7; 519.876.5

Buzov P.A.¹
Tinyaakov O.A.²
Dolinsky A.A.¹
Zaitsev A.N.¹
Medvedeva T.V.³

SOFTWARE PACKAGE FOR SIMULATING PROCESSES AND SYSTEMS

¹⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

²⁾ Kursk State University, 33Radishcheva St., Kursk, 305000, Russia

³⁾ Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after I.D. Putilina, 71 Gorky St., Belgorod, 308024, Russia

e-mail: info@softconnect.ru, OATinya-kov@mail.ru, digrayman@yandex.ru, 433044@bsu.edu.ru, miss.tania1975@yandex.ru

Abstract

UFOModeler, a domestic software toolkit for simulating organizational, business and industrial processes, is considered as a tool to increase the efficiency of implementing a quality management system at an enterprise, as well as its maintenance and audit. The article analyzes the problems of development, implementation and certification of a quality management system in accordance with the international standard ISO 9001. The introduction of this standard is due to the important advantages and benefits that it brings to the organization. But it is worth noting that the implementation of the standard does not always help to achieve the intended goals of the results. It is necessary to improve the development and functioning of the quality management system (QMS) in accordance with ISO 9001 and to support organizations in this process. Thus, we can conclude that the process of effective functioning of the quality management system assumes the availability of appropriate information and analytical support for the organization's business processes. It is proposed to use the method of system-object simulation and a software tool that automates the procedures for constructing and analyzing system-object models of processes and systems as a tool to create and structure information and analytical support.

Keywords: system-object model; model optimization; system-wide principles and patterns; UFOModeler; quality management system.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Международная организация по стандартизации (ISO — International Organization for Standardization) проводит ежегодное исследование результатов применения стандарта ISO 9001 по всему миру «The ISO Survey». Согласно статистике, на конец 2017 года количество выданных сертификатов в России составляло 0,3% от общемирового, или 0,9% от сертификатов, выданных в Европе. Безусловно, это крайне низкий показатель.

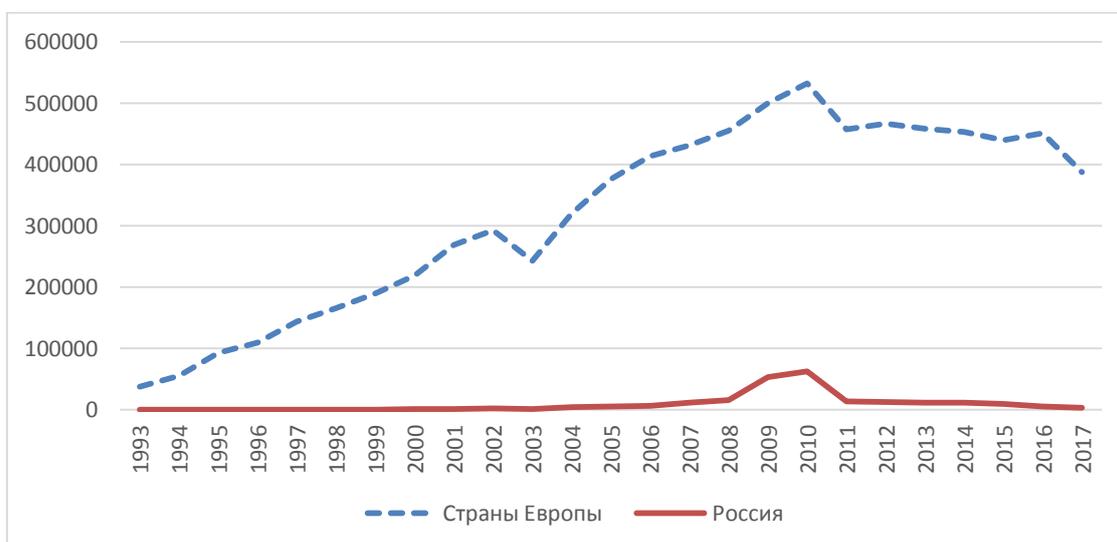


Рис. 1. Количество предприятий в России и Европе, сертифицированных по стандарту ISO 9001 на конец 2017 г.

Fig. 1. The number of enterprises in Russia and Europe certified according to ISO 9001 at the end of 2017

Кроме того, на графике явно видно, что, начиная с 2010 г. наблюдается снижение объемов сертификации. Основной причиной негативного тренда является то, что более половины предприятий не получили ожидаемых результатов, так как разработанная документация и выполнение обязательных процедур были направлены лишь на прохождение сертификационного аудита.

Данную проблему в своей статье «Кризис в стандартизации систем менеджмента. Причины. Пути выхода» [1] освещает генеральный директор ОАО «ВНИИС» (Всероссийский научно-

исследовательский институт сертификации) В.Г. Версан. Эксперт считает, что сам факт внедрения СМК в большинстве случаев рассматривается как единовременная акция – получение сертификата. Для того, чтобы система правильно функционировала и помогала достигать намеченных целей организации необходим контроль со стороны руководителей и осуществление процедур по поддержанию и развитию СМК.

Безусловно, влияет и экономическая среда в России. Это и высокий уровень коррупции, и сложное экономическое положение многих российских организаций ввиду налогооблагаемой базы.

Кроме выявленной проблемы формального подхода к сертификации существует несколько внутренних факторов, обуславливающих низкую результативность и эффективность СМК. Прежде всего, это неготовность предприятия или руководителя этого предприятия к серьезным изменениям. В большинстве случаев, требуется перестроение существующих бизнес-процессов, которое влечет за собой финансовые вложения, дополнительные человеческие ресурсы и время на реализацию.

Также встречается сопротивление со стороны сотрудников организации, так как рушатся прежние устои организации, а новые непонятны, и влекут за собой дополнительную нагрузку.

Руководители должны стать лидерами этого процесса, активно вовлекать в управление качеством коллектив, добиваться, чтобы СМК стала делом каждого работника, а расходы, связанные с внедрением и поддержанием системы менеджмента качества, следует рассматривать как инвестиции, которые будут возвращены в виде преимуществ и улучшений. Только при этом условии может быть достигнут необходимый результат.

МЕТОДЫ

Разработка и внедрение системы менеджмента качества подразумевает проведение периодических внутренних и внешних аудитов. Цель проведения аудитов – убедиться в том, что система соответствует всем установленным к ней требованиям, эффективно внедрена и поддерживается в рабочем состоянии. Аудиторский отчет о качестве должен указать основные причины недостатков, помочь перейти от состояния реагирования на них к предупредительным мерам, снизить число переделок и брака и лучше удовлетворять запросы потребителя [3].

Наиболее эффективным методом проведения аудита является аудит, охватывающий все процессы организации и проведенный от системы менеджмента организации к требованиям ISO 9001: 2015.

На сегодняшний день в практике сертификации существует проблема при проверке предприятия внешними аудиторами, которая заключается в непрозрачности данной процедуры для предприятия, проходящего внешний аудит. Руководство предприятий не всегда понимает, как аудитор строит процесс проверки, так как, в настоящее время, это является субъективной процедурой, проводящийся по усмотрению аудитора [4].

Субъективность процедуры определяется общим характером требований стандарта к бизнес-процессам предприятия. Стандарт четко определяет, что должно быть обязательно в структуре бизнес-процесса организации, но не определяет, как это должно быть реализовано. И главной задачей руководства в этой связи становится адаптация бизнес-процессов предприятия к требованиям стандарта. Одним из способов решения проблем внедрения и поддержания СМК является имитационное моделирование процессов.

В настоящее время разработан современный и перспективный метод имитационного моделирования, который до настоящего времени не использован в управлении качеством, является метод системно-объектного имитационного моделирования, основанный на системном подходе «Узел-Функция-Объект» (УФО-подходе) и системно-объектном методе представления знаний (СОМПЗ) [2].

Он позволяет без лишних затрат оценить эффективность любого спроектированного процесса. Прозрачность процедуры сертификации СМК могла бы обеспечить модель процесса проведения внутренних и внешних аудитов СМК.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим подробнее процесс проведения аудита СМК, его можно разделить на пять основных этапов:

- Организация работ.
- Анализ документов СМК организации.
- Подготовка к аудиту организации.
- Проведение аудита и подготовка отчета по его результатам.
- Завершение сертификации.

В свою очередь, каждый основной этап можно декомпозировать более детально:

- Организация работ.
 - заказчик направляет в орган по сертификации заявку;
 - в случае подтверждения заявки производится оплата регистрационного взноса;
 - заключение договора на проведение сертификации СМК;
 - передача в орган по сертификации комплект документов СМК и дополнительных документов, предъявляемых по запросу органа по сертификации. Руководство органа по сертификации на основе представленных заказчиком запрошенных сведений и документов назначает председателя комиссии аудита и формирует комиссию по сертификации;
 - орган по сертификации назначает аудитора и дату аудиторской проверки.
- Анализ документов СМК организации.
 - предоставленные документы анализируются на соответствие требованиям стандарта;
 - осуществляется сбор и анализ дополнительных сведений о качестве услуг или продукции данной организации;
 - оформление письменного отчета о предварительной проверке документов СМК;
 - орган по сертификации направляет отчет проверяемой организации для устранения указанных несоответствий, доработки документов;
- Подготовка к аудиту организации.
 - уполномоченный аудитор определяет и устанавливает каналы обмена информацией;
 - производится разработка плана аудита;
 - цели и критерии аудита;
 - область аудита;
 - дата проведения аудита;
 - место проведения аудита;
 - сроки проведения аудита;
 - подготовка рабочих документов;
 - контрольный перечень вопросов;
 - план выборочного контроля деятельности структурных подразделений;
 - бланки регистрации несоответствий и уведомлений.
- Проведение аудита и подготовка отчета по его результатам.
 - предварительное совещание с участием членов комиссии по аудиту, руководства и ведущих специалистов проверяемой организации;
 - Проведение анализа объектов СМК;
 - область применения СМК;
 - соответствие качества продукции требованиям потребителей и обязательным требованиям;
 - полнота и точность отражения требований стандартов в документах СМК организации;
 - соответствие функционирования процессов СМК требованиям документации системы;

- результативность СМК организации;
- сбор и проверка информации, которая относится к критериям аудита и может быть проверена;
- заключение на соответствие СМК организации критериям аудита;
- представление руководству проверяемой организации зарегистрированных несоответствий;
- устранение несоответствия или во время работы комиссии, или в установленные сроки при выполнении корректирующих действий;
- подготовка акта аудиторского заключения.
- Завершение сертификации.
 - регистрация и выдача сертификата соответствия.

Сертификация СМК организации считается завершенной при выполнении всех запланированных корректирующих действий и признании результативности их выполнения [5].

Все перечисленные этапы можно представить в виде системно-объектной имитационной модели, которая даст более наглядную картину прохождения внешнего аудита СМК согласно требованиям стандарта ISO серии 9001.

Рассмотрим возможности системно-объектного имитационного моделирования для обеспечения своевременной оценки соответствия СМК требованиям стандарта и эффективности процесса проведения как внутренних, так и внешних аудитов. С этой целью рассмотрим схематично процесс проведения аудитов в привязке к модели системы менеджмента качества в соответствии с требованиями стандарта ISO серии 9000 и структурой подразделений предприятия. Контекстная модель в общем виде процедуры внешнего аудита производственного предприятия представлена на рисунке 2.

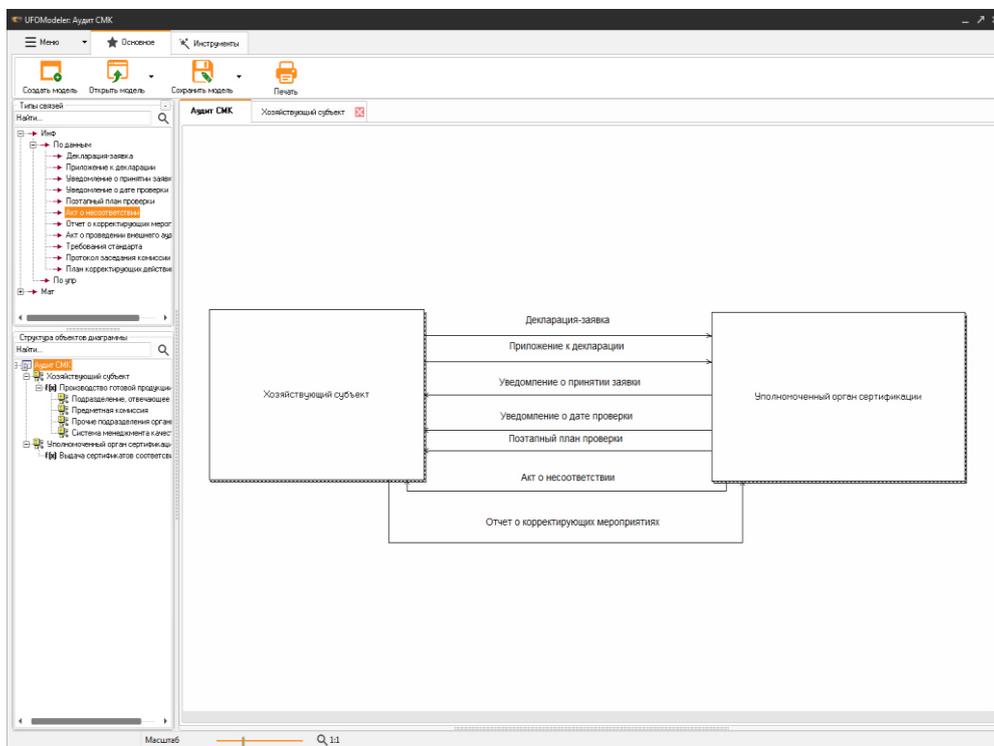


Рис. 2. Контекстная модель процедуры внешнего аудита СМК
Fig. 2. Context model of the QMS external audit procedure

Для описания общей процедуры проведения внешнего аудита СМК, в системно-объектной имитационной модели были выделены следующие потоковые и узловые объекты [6]:

$$M = L, S, \quad (1)$$

где: M – модель системы;

L – множество потоковых объектов модели, элементы которого представляют собою объект, которые не имеет методов и имеют лишь поля (2):

$$l=[r1, r2, \dots, rk], \quad (2)$$

где: rk – представляет собой поле потокового объекта, а $L=[l1, \dots, l11]$, т.е. в рассматриваемой модели были выделены одиннадцать потоковых объектов:

l1 – декларация заявка;

l2 – приложение к декларации;

l3 – уведомление о принятии и так далее, подробнее смотрите рисунок 1.

Каждый потоковый объект имеет свои поля, так, например, у потокового объекта l1 выделены такие поля, как: полное наименование организации, ФИО руководителя, ФИО представителя, телефон и т.п.

$$s[l?, l!; f(l?)l!; o?, o!, of] \quad (3)$$

В качестве узловых объектов, которые в соответствии с положениями исчисления функциональных узлов имеют вид (3), были выделены следующие: хозяйствующий субъект, уполномоченный орган сертификации, система менеджмента качества, подразделение отвечающее за СМК, предметная комиссия, прочие подразделения организации.

Таким образом, процедуры аудита СМК инициируется хозяйствующим субъектом, который подает декларацию-заявку на проведение аудита. В этом документе, помимо ключевой информации, инициатор указывает желаемые параметры сертификации, т.е. те стандарты СМК, на соответствие требованиям которых будет осуществляться проверка. Вместе с декларацией-заявкой передается приложение к декларации, содержащее исчерпывающий объем данных об организации. После получения соответствующей заявки, уполномоченный орган сертификации уведомляет заказчика о получении декларации и после изучения пакета документов, уведомляет первого о дате проведения аудита. В соответствии с пожеланиями заказчика орган сертификации разрабатывает поэтапный план аудита с указанием, с первого взгляда, вполне понятных действий, например, перечисляются объекты проверки вместе с пунктами стандарта СМК, которым они должны соответствовать, однако объекты проверки, как правило, имеют общие названия и понять, как будет проходить проверка на соответствие конкретного объекта не представляется возможным. После направления плана проверки заказчику, организуется внешний аудит, который, как правило, имеет субъективный характер (см. рисунок 3). По мнению авторов, на данном этапе, а также на этапе планирования аудита системно-объектное имитационное моделирование может сыграть роль инструмента, четко формализующего данный процесс. Этого можно достигнуть за счет, например изображения стандарта ИСО в виде системно-объектной имитационной модели, которую можно будет запустить на исполнение и понять – как должен функционировать процесс и его документационное обеспечения, полностью соответствующие требованиям стандарта.

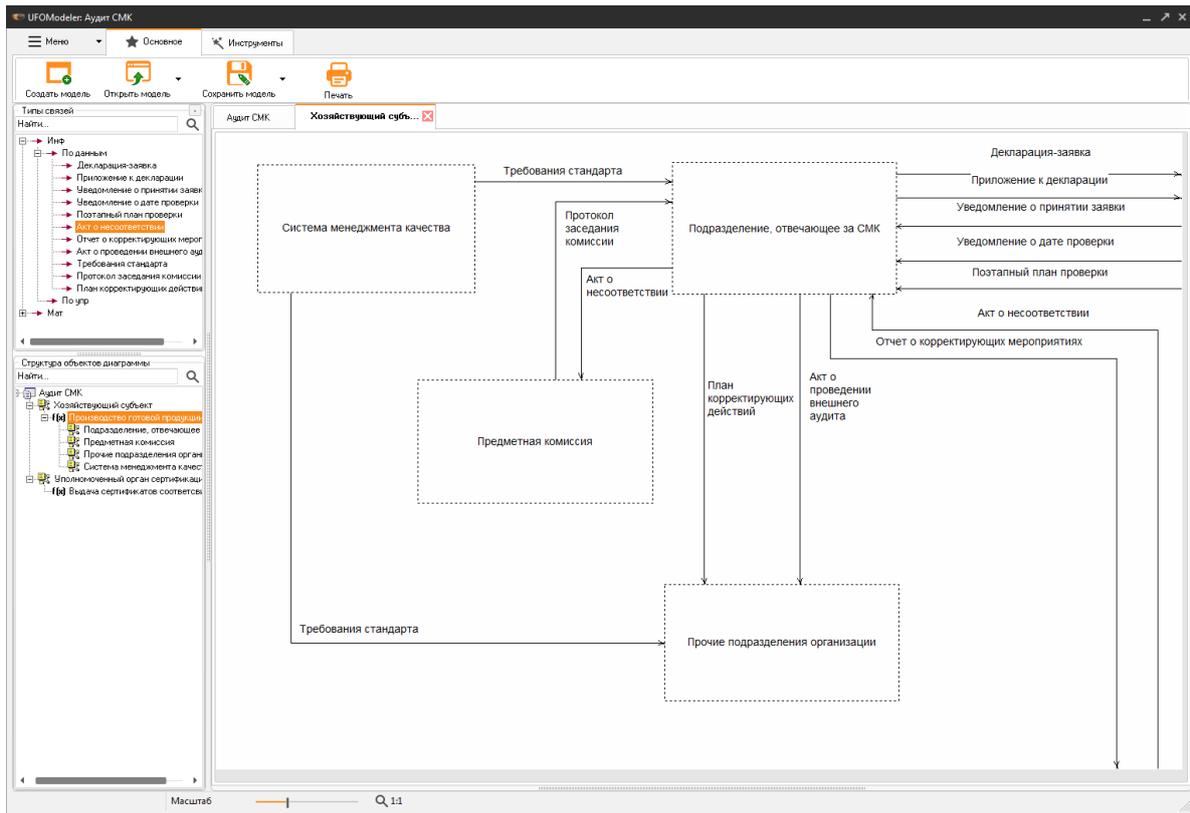


Рис. 3. Декомпозиция системно-объектной модели аудита СМК
Fig. 3. Decomposition of the system-object model of the QMS audit

Причем, системно-объектная модель стандарта позволит генерировать планы проверки СМК, что сделает процесс более прозрачным и открытым как для аудитора, так и для хозяйствующего субъекта.

ВЫВОДЫ

Результатом процесса проведения аудита является план предупреждающих и корректирующих действий для каждого подразделения, с указанием выявленных несоответствий требованиям стандарта и мероприятиях по их устранению.

Моделирование процесса аудита в реальном времени позволит своевременно оценить эффективность работы подразделений в СМК, устранить все возможные несоответствия. Сделает процесс аудита наглядным и измеряемым как в целом, так и в разрезе каждого подразделения и процесса СМК.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке проектов Российского фонда фундаментальных исследований № № 18-07-00355, 19-07-00290, 19-07-00111.

Список литературы

1. Версан В.Г. Кризис в стандартизации систем менеджмента. Причины. Пути выхода» [Электронный ресурс]. URL:[http:// www.vniis.ru/ publications/detail/1462](http://www.vniis.ru/publications/detail/1462) (дата обращения 15.05.2015).
2. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О. Имитационное моделирование с использованием системно-объектного подхода. // Прикладная информатика. – 2015. – №6(60). – Выпуск 10. – С. 91-104, 2015.
3. Б. Робертсон. Лекции об аудите качества: Пер. с англ. / Под общей ред. Ю.П. Адлера. Изд. 2-е, испр. – М.: Редакционно-информационное агентство "Стандарты и качество". – 264 с., 2000.
4. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Бузов П.А. Оценка системы менеджмента качества с помощью системно-объектного имитационного моделирования //Сборник научных трудов XXII-й Международной

научной конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ)», г. Москва, апрель, 2019) Том 2. – С. 79-84

5. Австриевских А.Н., Управление качеством на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности: учебник / А.Н. Австриевских, В.М. Кантере, И. В. Сурков, Е.О. Ермолаева. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство – 268 с., 2007 г.

6. Zhikharev, A., Matorin, S., Egorov, I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10(10 Special Issue), pp. 1806-1812, 2018 г.

References

1. Versan V.G. The crisis in the standardization of management systems. Causes. Ways of exit "[Electronic resource]. URL: <http://www.vniis.ru/publications/detail/1462> (data accessed 05.15.2015).

2. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zaitseva N.O. Simulation using a system-object approach // Applied Informatics. – 2015. – No. 6 (60). – Issue 10. – S. 91-104, 2015.

3. B. Robertson. Lectures on quality audit: Per. from English / Under the general ed. Yu.P. Adler. Ed. 2nd, rev. – M.: Standards and Quality Editorial and Information Agency. – 264 p., 2000.

4. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Buzov P.A. Evaluation of a quality management system using system-object simulation // Collection of scientific papers of the XXIIth International Scientific Conference "Enterprise Engineering and Knowledge Management (IP & UZ)", Moscow, April, 2019) Volume 2. – P. 79-84

5. Avstrievskikh AN, Quality management at the enterprises of food and processing industry: textbook / A.N. Austrian, V.M. Kantere, I.V. Surkov, E.O. Ermolaeva. – 2nd ed., Rev. and add. – Novosibirsk: Siberian University Publishing House – 268 p., 2007

6. Zhikharev, A., Matorin, S., Egorov, I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10 (10 Special Issue), pp. 1806-1812, 2018

Бузов Павел Андреевич, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

Тиняков Олег Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и безопасности жизнедеятельности

Долинский Александр Александрович, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

Зайцев Анатолий Николаевич, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Медведева Татьяна Викторовна, заместитель начальника курса

Buzov Pavel Andreevich, graduate student of the Department of Information and Robotic Systems

Tinyakov Oleg Alekseevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and life safety

Dolinsky Alexander Alexandrovich, graduate student of the Department of Information and Robotic Systems

Zaitsev Anatoly Nikolaevich, graduate student of the Department of Applied Informatics and Information Technology

Medvedeva Tatyana Viktorovna, deputy head of the course

УДК 004.43

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-5

**Какаев Д.В.
Маслова М.А.****АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА PYTHON**

Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, д. 33, г. Севастополь, 299053, Россия

*e-mail: 619deniss61999@gmail.com, mashechka-81@mail.ru***Аннотация**

Анализ рисков позволяет принимать правильные решения по управлению компанией и ведения бизнеса. Риски, связанные с информационной безопасностью информации, являются одними из основных и рассматриваются в международных стандартах серии ISO/IEC 27000, и, в частности, национальные стандарты Российской Федерации серии ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000. Для расчета рисков информационной безопасности выделяют две группы методов. Первая группа включает в себя методы позволяющие определить уровень риска с помощью уровня его соответствия выбранному набору требований. Вторая группа основывается на расчете вероятности реализации угроз, а также уровень ущерба от их реализации. При расчете могут использоваться статистические методы, методы экспертных оценок или элементы теории принятия решений. Статистические методы основываются на анализе уже имеющихся инцидентов в области информационной безопасности. На основе уже зарегистрированных событий рассчитывается вероятность реализации угрозы и уровень ущерба от ее реализации. В данной работе приводится пример автоматизации расчетов рисков информационной безопасности методом экспертных оценок.

Ключевые слова: риски; метод экспертных оценок; автоматизация; Python.

UDC 004.43

**Kakaev D.V.
Maslova M.A.****AUTOMATION OF CALCULATIONS OF INFORMATION SECURITY RISKS
BY EXPERT ASSESSMENTS ON PYTHON**

Sevastopol state University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russia

*e-mail: 619deniss61999@gmail.com, mashechka-81@mail.ru***Abstract**

Risk analysis allows you to make the right decisions on managing the company and doing business. Risks associated with information security of information are one of the main ones and are considered in international standards of the ISO / IEC 27000 series, and, in particular, national standards of the Russian Federation of the GOST R ISO/IEC 27000 series. Two groups of methods are distinguished for calculating in-formation security risks. The first group includes methods to determine the level of risk using the level of compliance with the selected set of requirements. The second group is based on the calculation of the probability of the implementation of threats, as well as the level of damage from their implementation. In the calculation, statistical methods, expert judgment methods or elements of decision theory can be used. Statistical methods are based on the analysis of already existing incidents in the field of information security. Based on the events already recorded, the probability of the threat and the level of damage from its implementation is calculated. This paper gives an ex-ample of the automation of information security risk calculations using expert assessments.

Keywords: risks; expert assessment method; automation; Python.**ВВЕДЕНИЕ**

Работа с рисками является неотъемлемой частью современного бизнеса. Анализ рисков позволяет принимать правильные решения по управлению компанией и ведения бизнеса. Риски, связанные с информационной безопасностью информации, являются одними из основных и рассматриваются в международных стандартах серии ISO/IEC 27000, и, в частности,

национальные стандарты Российской Федерации серии ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000 [1]. Для обеспечения информационной безопасности в организациях, где обрабатывается государственная тайна имеется ряд нормативно-правовых актов и требований, в соответствии с которыми строится система защиты информации [2]. Для коммерческих организаций, где циркулирует коммерческая тайна, персональные данные и иная информация, утечка которой может нанести ущерб организации, нет строгих требований для построения системы защиты информации. Поэтому коммерческие организации основываются на анализе рисков информационной безопасности [3].

Риск информационной безопасности- возможность того, что некоторая угроза сможет воспользоваться уязвимостью актива и нанесет ущерб организации. Фактически риск представляет собой оценку, показывающая насколько эффективно система защиты информации противодействует реализации информационных угроз на данный момент [4].

Таким образом, на основе выявленных уязвимостей системы защиты, возможных угрозы и вероятности их реализации можно найти баланс между финансовыми затратами на модернизацию системы защиты и затратами при утечки защищаемой информации. Результат анализа рисков является наглядным представлением возможных уязвимостей и вероятности их реализации, ущерба от их реализации. Эти результаты в дальнейшем могут быть использованы для представления директору организации для принятия им решения по выделению средств на систему защиты и при построения этой системы защиты.[5]

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для расчета рисков информационной безопасности выделяют две группы методов. Первая группа включает в себя методы позволяющие определить уровень риска с помощью уровня его соответствия выбранному набору требований. Этими требованиями могут быть: международные стандарты информационной безопасности, нормативно-правовые акты Российской Федерации в области защиты информации, рекомендации к защите информации от крупных компаний, работающих в этой области и др. Зачастую требования выдвигаемые нормативными документами к организациям, в которых обрабатывается государственная тайна, для коммерческой организации будут немного преувеличены. Но тем не менее они могут использоваться как ориентир или использоваться с небольшими изменениями на усмотрение коммерческой организации. [6]

Вторая группа основывается на расчете вероятности реализации угроз, а также уровень ущерба от их реализации. Значение риска вычисляется отдельно для каждой атаки. И представляется как произведение вероятности проведения атаки на величину возможного ущерба от этой атаки. Владелец информации дает оценку ущербу, а группа экспертов выдвигает предположения и вычисляет вероятность атаки [7].

При расчете могут использоваться статистические методы, методы экспертных оценок или элементы теории принятия решений. Статистические методы основываются на анализе уже имеющихся инцидентов в области информационной безопасности. На основе уже зарегистрированных событий рассчитывается вероятность реализации угрозы и уровень ущерба от ее реализации. Но статистической информации об инцидентах не так много и часть умалчивается. Ведь организации выгоднее умолчать о какой-либо утечке чтобы избежать репутационных потерь [8].

При использовании метода экспертных оценок анализ результатов работы проводится группой экспертов, компетентных в области информационной безопасности. Эксперты определяют количественные или качественные уровни риска, основываясь на своем профессиональном опыте. Для вычисления значения риска безопасности более сложные алгоритмы обработки результатов работы группы экспертов применяются элементы теории принятия решений [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим программную реализацию одного из методов расчета рисков с помощью Python.

Формируется группа компетентных экспертов, которые будут проводить оценку рисков. Каждому эксперту предлагается ввести свой критерий оценки значимости мнений экспертов и шкалу для него. Далее каждому эксперту предлагается оценить каждый из предложенных критериев, где 1 – самый важный, по их мнению, критерий, а последний – наименее важный. После этого начинает формироваться таблица: строки с оценками экспертов (Листинг 1, 01-07), строка сумма рангов (Листинг 1, 08-016), строка вес критериев (Листинг 1, 017-024). Полученные веса критериев будут использованы в дальнейших расчетах. Программа выводит результат в удобном для восприятия виде (Рис.1).

Листинг 1

```

01:     for i in range(usersAmount):
02:         data=[globals()['user_%s' % (i+1)]]
03:         for j in range(usersAmount):
04:             data.append(globals()['user_%s_kriteriy_%s_rang' % (i+1,j+1)])
05:         data.append('')
06:         culc_rang_kriteriy.append(data)
07:     rangsumall=0
08:     data=['Сумма рангов']
09:     for i in range(usersAmount):
10:         globals()['rangsumkriteriy_%s' % (i+1)]=0
11:         for j in range(usersAmount):
12:             globals()['rangsumkriteriy_%s' % (i+1)]+=float(globals()['user_%s_kriteriy_%s_rang' % (j+1,i+1)])
13:         data.append(globals()['rangsumkriteriy_%s' % (i+1)])
14:         rangsumall+=globals()['rangsumkriteriy_%s' % (i+1)]
15:     data.append(rangsumall)
16:     culc_rang_kriteriy.append(data)
17:     data=['Вес критерия']
18:     helpculcsum=0
19:     for i in range(usersAmount):
20:         helpculcsum+=rangsumall/globals()['rangsumkriteriy_%s' % (i+1)]
21:     for i in range(usersAmount):
22:         globals()['weight_%s' % (i+1)]=round(rangsumall/globals()['rangsumkriteriy_%s' % (i+1)]/helpculcsum,2)
23:     data.append(globals()['weight_%s' % (i+1)])
24:     culc_rang_kriteriy.append(data)

```

Эксперт\Критерий->	1	2	3	
Аня	1	2	3	
Саша	3	2	1	
Влад	2	3	1	
Сумма рангов	6	7	5	18.0
Вес критерия	0.33	0.28	0.39	

Рис. 1. Таблица расчет рангов критериев
Fig. 1. Table calculation of the ranks of the criteria

Каждому эксперту предлагается оценить всех экспертов, в том числе и себя, по ранее указанным критериям. Далее идут расчеты для таблицы расчета рангов экспертов: суммарные оценки каждого эксперта (Листинг 2, 01-013), расчет рангов экспертов путем умножения суммарной оценки эксперта по критерию на вес этого критерия (Листинг 2, 014-018), расчет веса экспертного мнения путем деления ранга эксперта на суммарное значение рангов (Листинг 2, 019-027). После этого формируется таблица расчета рангов экспертов (рис. 2) [10].

Листинг 2

```

01:  outer=[]
02:  for i in range(usersAmount):
03:      inner=[]
04:      inner.append(globals()['user_%s' % (i+1)])
05:      for j in range(usersAmount):
06:          inner.append(generalTable(i,j+1,usersAmount))
07:      inner.append('')
08:      inner.append('')
09:      outer.append(inner)
010: inner=['Итого']
011: for i in range(usersAmount+2):
012:     inner.append('')
013: outer.append(inner)
014: for i in range(usersAmount):
015:     buf=0
016:     for j in range(usersAmount):
017:         buf+=globals()['weight_%s' % (j+1)]*outer[i][j+1]
018:         outer[i][usersAmount+1]=round(buf,2)
019:     buf=0
020: for i in range(usersAmount):
021:     buf+=outer[i][usersAmount+1]
022: outer[usersAmount][usersAmount+1]=buf
023: for i in range(usersAmount):
024:     globals()['user_%s_weight' %
(i+1)]=float(outer[i][usersAmount+1])/float(outer[usersAmount][usersAmount+1])
025:     outer[i][usersAmount+2]=round(globals()['user_%s_weight' %
(i+1)],2)
026: for i in range(usersAmount):
027:     outer[usersAmount][usersAmount+2]

```

Эксперт\Критерий	[1, 0.33]	[2, 0.28]	[3, 0.39]	Ранг эксперта	Вес. эксп. мнения
Аня	6	6	8	6.78	0.32
Саша	12	5	7	8.09	0.39
Влад	6	9	4	6.06	0.29
Итого				20.93	

Рис. 2. Таблица расчета рангов экспертов
Fig. 2. Expert rank calculation table

В итоге были рассчитаны все ранги экспертного мнения каждого участника, которые будут использоваться дальше для определения актуальных угроз. Данный расчет является универсальным для метода экспертных оценок и может использоваться в любых других случаях, с использованием метода экспертных оценок.

На этом этапе перед экспертами стоит задача формирования списка возможных рисков в оцениваемой области. Для этого каждый эксперт предлагает 5-7 рисков, которым следовало бы уделить внимание в данной ситуации, затем риски обсуждаются, несущественные риски отбрасываются, формулируется общий список. Для анализа должен быть составлен список из 15 – 20 рисков. Каждому риску присваивается свой единый для всех экспертов код. Этот список вводится в программу для дальнейшей оценки.

В пункте оценки критериев значимости рисков каждый эксперт предлагает один критерий важности. Полученным критериям назначается номер для удобства и формируется таблица.

Далее происходит ранжирование критериев важности. Каждому эксперту предлагается оценить выбранный на предыдущем этапе критерии в порядке значимости, где 1 – самый важный критерий, последний – наименее важный (Листинг 3). Оценки экспертов заносятся в таблицу и выводятся на экран индивидуально для каждого эксперта.

Листинг 3

```
01: for i in range( usersAmount):
02:     globals()['users_%s_table(kriteriy-rang)' % (i+1)]=[]
03:     for j in range(len(risk_kriteriy_matrix)):
04:         buffer=[]
05:         buffer.append(globals()['risk_kriteriy_%s' % (j+1)])
06:         globals()['users_%s_kriteriy_%s_rang' %
(i+1,j+1)]=input(str(globals()['user_%s' % (i+1)])+', введите ранг
критерия '+str(globals()['risk_kriteriy_%s' % (j+1)]))
07:         buffer.append(globals()['users_%s_kriteriy_%s_rang' %
(i+1,j+1)])
08:         globals()['users_%s_table(kriteriy-rang)' %
(i+1)].append(buffer)
09:         tableHeaders=['Критерий', 'Ранг']
10:         print(tabulate(globals()['users_%s_table(kriteriy-rang)' % (i+1)],
headers=tableHeaders, tablefmt="grid"))
```

На этапе расчета рангов и весов критериев важности рисков производятся расчеты и формируются в таблицу. Происходит расчет рангов каждого критерия путем суммирования для всех экспертов произведений веса экспертного мнения и его оценки соответствующего критерия важности (Листинг 6, 011-017). Расчет весов критериев важности рассчитывается как частное от вспомогательного расчета соответствующего критерия и суммарному значению вспомогательных расчетов всех рангов (Листинг 6, 025-030).

Листинг 4

```
01: calculation_rang_tabel=[]
02: for i in range(usersAmount):
03:     buffer=[]
04:     buffer.append(globals()['user_%s' % (i+1)])
05:     buffer.append(globals()['user_%s_weight' % (i+1)])
06:     for j in range(usersAmount):
07:         buffer.append(globals()['users_%s_kriteriy_%s_rang' %
(i+1,j+1)])
08:     buffer.append('')
09:     calculation_rang_tabel.append(buffer)
10: buffer=['Ранг', '']
11: for i in range(usersAmount):
12:     globals()['kriteriy_%s_rang' % (i+1)]=0
13:     for j in range(usersAmount):
14:         globals()['kriteriy_%s_rang' %
(i+1)]+=float(globals()['user_%s_weight' %
(j+1)])*float(globals()['users_%s_kriteriy_%s_rang' % (j+1,i+1)])
15:     buffer.append(globals()['kriteriy_%s_rang' % (i+1)])
16: buffer.append('')
17: calculation_rang_tabel.append(buffer)
18: res=0
19: for i in range(usersAmount):
20:     res+=globals()['kriteriy_%s_rang' % (i+1)]
21: calculation_rang_tabel[usersAmount][usersAmount+2]=round(res,2)
22: helpcalc=0
23: for i in range(usersAmount):
24:     helpcalc+=calculation_rang_tabel[usersAmount][usersAmount+2]/globals()['kriteriy_%s_rang' % (i+1)]
```

```

025: buffer=['Вес критерия', '']
026: for i in range(usersAmount):
027:     globals()['kriteriy_%s_weight' % (i+1)] = calculation_rang_tabel[usersAmount][usersAmount+2]/globals()['kriteriy_%s_rang' % (i+1)]/helpcalc
028:     buffer.append(globals()['kriteriy_%s_weight' % (i+1)])
029: buffer.append('')
030: calculation_rang_tabel.append(buffer)

```

В этом пункте экспертам необходимо оценить выбранные риски по всем критериям в порядке значимости, где 1 – самый важный риск, последний – наименее важный.

Для каждого эксперта формируется таблица, которая состоит из рисков и соответствующих им оценок по каждому критерию (Листинг 5, 01-09), расчет рангов каждого критерия путем суммы произведений веса критерия на соответствующую ему оценку (Листинг 5, 010-015). На основе рассчитанных рангов каждому критерию назначается приоритет: с возрастанием ранга возрастает приоритет (Листинг 5, 015-023).

Листинг 5

```

01: for i in range(usersAmount):
02:     table_marking=[]
03:     mas=[]
04:     for j in range(len(risk_tabel)):
05:         buffer=[]
06:         globals()['user_%s_risk_%ssumrang' % (i+1,j+1)]=0
07:         buffer.append(j+1)
08:         for g in range(usersAmount):
09:             buffer.append(globals()['user_%s_risk_%s_kriteriy_%s_mark' % (i+1,j+1,g+1)])
10:         for jj in range(usersAmount):
11:             globals()['user_%s_risk_%ssumrang' % (i+1,j+1)] += float(globals()['user_%s_risk_%s_kriteriy_%s_mark' % (i+1,j+1,jj+1)]) * float(globals()['kriteriy_%s_weight' % (jj+1)])
12:             mas.append(globals()['user_%s_risk_%ssumrang' % (i+1,j+1)])
13:             buffer.append(globals()['user_%s_risk_%ssumrang' % (i+1,j+1)])
14:             buffer.append('')
15:             table_marking.append(buffer)
16:         sortedmas=sorted(mas)
17:         for i1 in range(len(mas)):
18:             for i2 in range(len(mas)):
19:                 if mas[i1]==sortedmas[i2]:
20:                     globals()['user_%s_risk_%s_mark' % (i+1,i1+1)] = sortedmas.index(mas[i1])+1
21:                     table_marking[i1][usersAmount+2] = sortedmas.index(mas[i1])+1
22:                     sortedmas[i2]=0
23:                     break

```

Далее необходимо объединить оценки всех экспертов и на их основе выделить актуальные риски. Для этого формируется таблица, в которой суммируются приоритеты по каждому риску для всех экспертов (Листинг 6, 01-06). Далее происходит расчет рангов путем умножения соответствующего значения приоритета на вес мнения эксперта (Листинг 6, 07-013). На основе рассчитанных рангов каждому критерию назначается приоритет: с возрастанием ранга возрастает приоритет (Листинг 6, 014-019).

Листинг 6

```

01: table_marking_general=[]
02: mas=[]
03: for i in range(len(risk_tabel)):

```

```

04:     buffer=[]
05:     buffer.append(globals()['risk_%s' % (i+1)])
06:     globals()['rangsum_risk_%s' % (i+1)]=0
07:     for j in range(usersAmount):
08:         buffer.append(globals()['user_%s_risk_%s_mark' % (j+1,i+1)])
09:         globals()['rangsum_risk_%s' % (i+1)]+=globals()['user_%s_weight'
% (j+1)]*globals()['user_%s_risk_%s_mark' % (j+1,i+1)]
10:     buffer.append(globals()['rangsum_risk_%s' % (i+1)])
11:     mas.append(globals()['rangsum_risk_%s' % (i+1)])
12:     buffer.append('')
13:     table_marking_general.append(buffer)
14:     for i1 in range(len(mas)):
15:         for i2 in range(len(mas)):
16:             if mas[i1]==sorted(mas)[i2]:
17:                 table_marking_general[i1][usersAmount+2]=
sorted(mas).index(mas[i1])+1
18:                 sortedmas[i2]=0
19:                 break

```

4.2 Оценка рисков по критериям (коллективное мнение)

Риск	Аня (0.32)	Сама (0.39)	Влад (0.29)	Расчет рангов	Приоритеты
риск 1	8	6	13	8.67	11
риск 2	9	5	5	6.28	4
риск 3	4	12	6	7.7	6
риск 4	13	9	12	11.15	13
риск 5	12	3	11	8.2	10
риск 6	10	11	2	8.07	9
риск 7	14	1	14	8.93	12
риск 8	6	8	4	6.2	3
риск 9	7	14	1	7.99	8
риск 10	3	2	7	3.77	1
риск 11	15	13	9	12.48	15
риск 12	1	4	8	4.2	2
риск 13	5	10	3	6.37	5
риск 14	11	15	10	12.27	14
риск 15	2	7	15	7.72	7

Рис. 3. Таблица оценок рисков

Fig. 3. Risk Assessment Table

Из полученной таблицы рисков необходимо выбрать 10 с наименьшим рангом. Это и будет перечень наиболее важных рисков по исследуемому вопросу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге работы написана программа для автоматизации расчетов рисков при оценке их методом экспертных оценок. Представленные элементы кода, который можно модернизировать под свои индивидуальные нужды при расчетах. Таким образом, программа не только упрощает однотипную и необходимую работу, но может быть подстроена для работы в других расчетах, что увеличивает ее область применения. Правильность самих результатов будет зависеть от компетентности выбранных для проведения оценок экспертов.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000, 2012 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200102762> (дата обращения 10.12.2019)

2. Приказ об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах, 2013 г. URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/702> (дата обращения 10.12.2019)
3. Аверченков В.И., Рытов М.Ю., Кондрашин Г.В., Рудановский М.В. Системы защиты информации в ведущих зарубежных странах: учебное пособие для вузов 3-е изд., стер. – М.: Флинта, 2011. – 224 с. URL: <http://www.biblioclub.ru/book/93351/>(дата обращения 10.12.2019)
4. Варфоломеев А.А. Управление информационными рисками: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 158 с. (дата обращения 10.12.2019)
5. Милославская, Н.Г. Управление рисками информационной безопасности: учеб. пособие / М.Ю. Сенаторов, А.И. Толстой, Н.Г. Милославская. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 131 с. – (дата обращения 10.12.2019)
6. Киселева И.А., Искаджян С.О. Информационные риски: методы оценки и анализа // ИТ-портал, 2017. №2(14). URL: <http://itportal.ru/science/economy/informatsionnye-riski-metody-otsenk/> (дата обращения 10.12.2019)
7. Набатова, Д.С. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Д. С. Набатова, 2017. – 292 с. – URL: <https://www.biblio-online.ru/book/0AB93023-5D55-4432-B8F1-34FE55F7BE10>(дата обращения 10.12.2019)
8. Калинин М.О. Теория и системы управления информационной безопасностью. Анализ рисков информационной безопасности. Лабораторный практикум. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2010. (дата обращения 10.12.2019)
9. Баранова Е.К., Барабаш А.В. Моделирование системы защиты информации. – М.: РИОР ИНФРА-М, 2014. – 120 с. (дата обращения 10.12.2019)
10. Документация Python для сетевых инженеров. URL: https://pyneng.readthedocs.io/ru/latest/book/12_useful_modules/tabulate.html(дата обращения 10.12.2019)

References

1. GOST R ISO / IEC 27000, 2012. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200102762> (data accessed 10.12.2019)
2. Order on the approval of requirements for the protection of information not constituting state secrets contained in state information systems, 2013 URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/702> (data accessed 10.12.2019)
3. Averchenkov V.I., Rytov M.Yu., Kondrashin G.V., Rudanovsky M.V. Information Security Systems in Leading Foreign Countries: A Textbook for High Schools 3rd ed., Sr. – M.: Flint, 2011. – 224 p. URL: <http://www.biblioclub.ru/book/93351/> (data accessed 10.12.2019)
4. Varfolomeev A.A. Information Risk Management: Textbook. allowance. – M.: RUDN University, 2008. -158 p. (data accessed 10.12.2019)
5. Miloslavskaya, N.G. Information Security Risk Management: Textbook. allowance / M.Yu. Senators, A.I. Tolstoy, N.G. Miloslavskaya. – M.: Hot line – Telecom, 2013. – 131 p. – (data accessed 10.12.2019)
6. Kiseleva I.A., Iskadzhyan S.O. Information risks: assessment and analysis methods // IT portal, 2017. No. 2 (14). URL: <http://itportal.ru/science/economy/informatsionnye-riski-metody-otsenk/> (data accessed 10.12.2019)
7. Nabatova, D.S. Mathematical and instrumental methods of decision support: a textbook and a workshop for undergraduate and graduate programs / D.S. Nabatova. – M.: Yurayt Publishing House, 2017. – 292 p. – URL: <https://www.biblio-online.ru/book/0AB93023-5D55-4432-B8F1-34FE55F7BE10> (data accessed 10.12.2019)
8. Kalinin M.O. Theory and information security management systems. Risk analysis of information security. Laboratory workshop. – St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2010. (data accessed 10.12.2019)
9. Baranova E.K., Barabash A.V. Modeling information security system. – M.: RIOR INFRA-M, 2014. – 120 p. (data accessed 10.12.2019)
10. Python documentation for network engineers. URL: https://pyneng.readthedocs.io/ru/latest/book/12_useful_modules/tabulate.html (data accessed 10.12.2019)

Какаев Денис Валерьевич, студент 4 курса кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

Маслова Мария Александровна, аспирант, старший преподаватель кафедры Информационная безопасность Института радиоэлектроники и информационной безопасности

Kakaev Denis Valerievich, 4th year student of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and information security

Maslova Maria Aleksandrovna, postgraduate student, senior lecturer of the Department Information security, Institute of Radioelectronics and information security

УДК 004.896, 666.9.04

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-6

Резников Н. Г.¹
Щербинина Н. В.¹
Забнин С.А.²

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ОБЖИГОМ
ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

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

²) ООО «Интерактивные технологии и системы», Пресненская набережная, дом 8с1,
г. Москва, 141400, Россия

e-mail: 1335750@bsu.edu.ru, shcherbinina@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе рассмотрены основные аспекты управления технологическим процессом обжига цементного клинкера сухим способом производства. С помощью технологий системно-структурного моделирования разработана модель непосредственно технологического процесса, где показаны движения материальных и газовых потоков, основное технологическое оборудование и рычаги управления процессом. Также представлена обобщенная модель действий оператора при управлении обжигом клинкера. Рассмотрены основные сложности процесса управления при принятии решений по изменению регулировочных воздействий. В связи с этим представлена концепция модели интеллектуальной системы, поддерживающей обоснованный выбор оптимальных характеристик проведения процесса обжига цементного клинкера.

Ключевые слова: обжиг цементного клинкера, сухой способ производства, модель, системно-структурный анализ, управление процессом, интеллектуальная система.

UDC 004.896, 666.9.04

Reznikov N.G.¹
Shcherbinina N.V.¹
Zabnin S.A.²

OPTIMIZATION OF CEMENT CLINKER FIRING CONTROL PROCESS

¹) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

²) Interactive Technologies and Systems, 8S1 Presnenskaya naberezhnaya, Moscow, 141400, Russia

e-mail: 1335750@bsu.edu.ru, shcherbinina@bsu.edu.ru

Abstract

The paper discusses the main aspects of process control of cement clinker burning by the dry method of production. With the help of systems – structural modeling technologies, a model of the technological process itself has been developed, showing the movements of material and gas flows, the main process equipment and process control levers. Also presented is a generalized model of operator actions when controlling clinker burning. The main difficulties of the management process when making decisions on changing regulatory actions are considered. In this regard, the concept of an intelligent system model is presented that supports a reasonable choice of the optimal characteristics of the cement clinker burning process.

Keywords: Cement clinker burning, dry mode of production, model, system – structural analysis, process control, intelligent system.

ВВЕДЕНИЕ

Цементная промышленность играет важную роль в создании материально-технической базы современного общества. Основной статьей затрат в себестоимости цемента являются затраты на топливо при обжиге цементного клинкера. Нестабильность режима обжига ведет к снижению

качества продукции и увеличению издержек производства. Таким образом, для интенсификации процесса обжига клинкера, необходимо обеспечить его постоянную работу в заданном режиме.

Сухой способ производства, по сравнению с мокрым, позволяет сэкономить расход топлива на обжиг до 45%. Немаловажной составляющей является возможность полной автоматизации и удаленного управления технологического процесса.

В настоящее время с целью реализации принятой в России концепции ресурсо- и энергосбережения во многих отраслях промышленности внедряются современные системы автоматизированного управления производством и интеллектуальные информационные системы при управлении технологическими процессами.

На печах с существующим техническим комплексом по автоматизации все еще очень существенную роль в управлении играет человек, на которого возлагаются функции принятия решения на основе информации, формируемой на пульте управления, при этом возможны ошибки в силу человеческого фактора.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Системно-структурное моделирование процесса обжига клинкера сухим способом

Комплекс процессов, происходящих при обжиге цементного клинкера под воздействием тепловой энергии, весьма обширен и сложен. Процессы горения топлива, движения материальных и газовых потоков, теплообмена и физико-химических превращений сырьевой смеси тесно связаны между собой и каждый из них имеет решающее значение. Поэтому при управлении процессом обжига клинкера очень важно выбрать оптимальные параметры режима работы и поддерживать их постоянство.

На рис. 1 и рис. 2 представлена структура процесса обжига клинкера с точки зрения технологического процесса с использованием стандарта функционального моделирования IDEF 0.

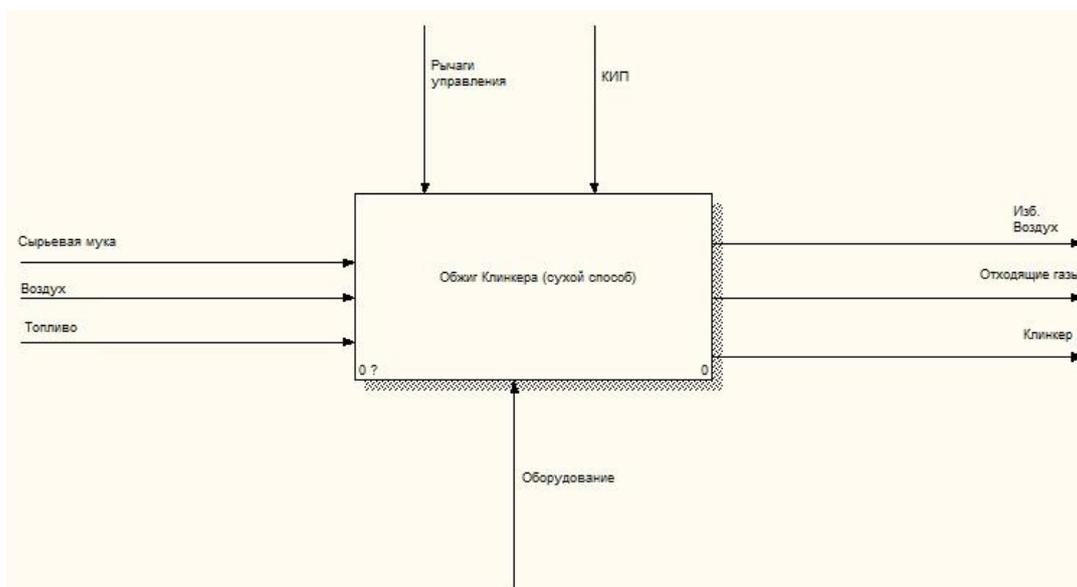


Рис. 1. Контекстная диаграмма процесса обжига клинкера сухим способом (IDEF 0)

Fig. 1. Dry process clinker burning context diagram (IDEF 0)

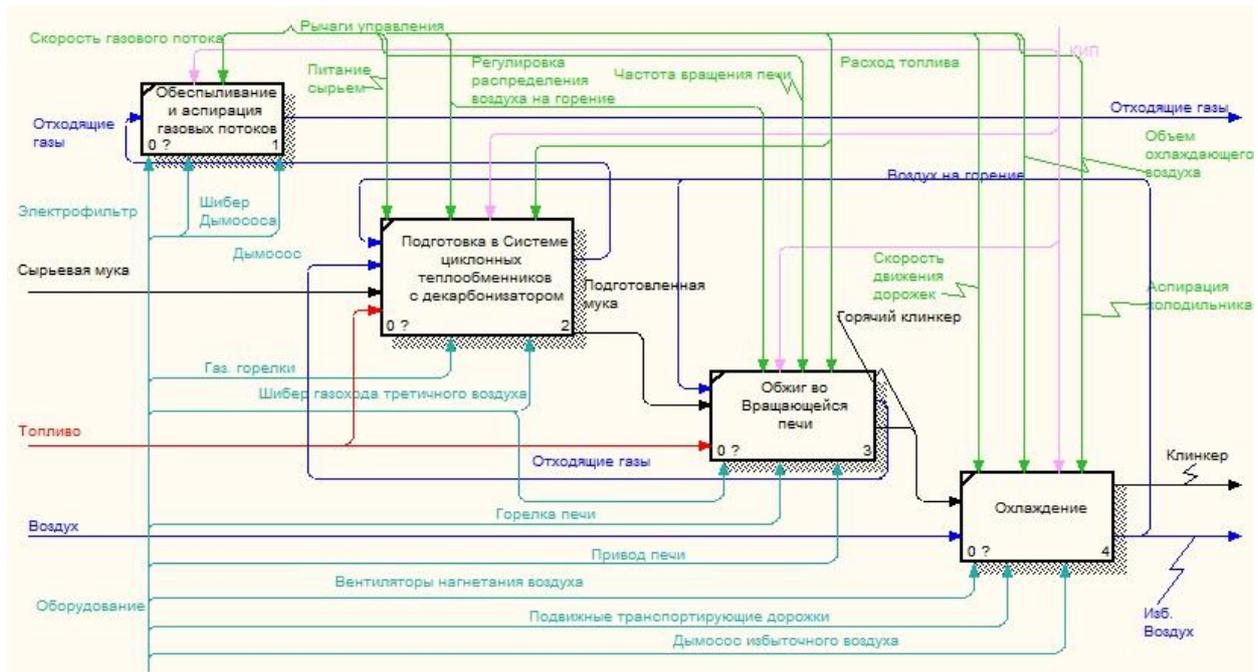


Рис. 2. Диаграмма декомпозиции процесса обжига клинкера сухим способом (IDEF 0)
Fig. 2. Dry process clinker burning decomposition diagram (IDEF 0)

Функциональные блоки декомпозиции тесно связаны между собой, и изменение режима работы одного из них непременно повлияет на режим работы всей системы. Оптимальная работа системы достигается за счет выбора режима работы оборудования средствами рычагов его управления, опираясь на данные контрольно-измерительных приборов и данные физико-химических анализов. С точки зрения технологического процесса, оптимальный режим работы подразумевает выход продукта заданного качества при минимальных удельных энергетических затратах и нормальным износом оборудования при работе.

Особенности автоматизированного управления процессом обжига клинкера

Как уже отмечалось ранее, важную роль в управлении процессом обжига играет человек. Именно он принимает решение по тем или иным регулировочным воздействиям, на основании информации о протекании процесса. На рис. 3 и рис. 4 представлена обобщенная модель действий оператора при автоматизированном управлении процессом.

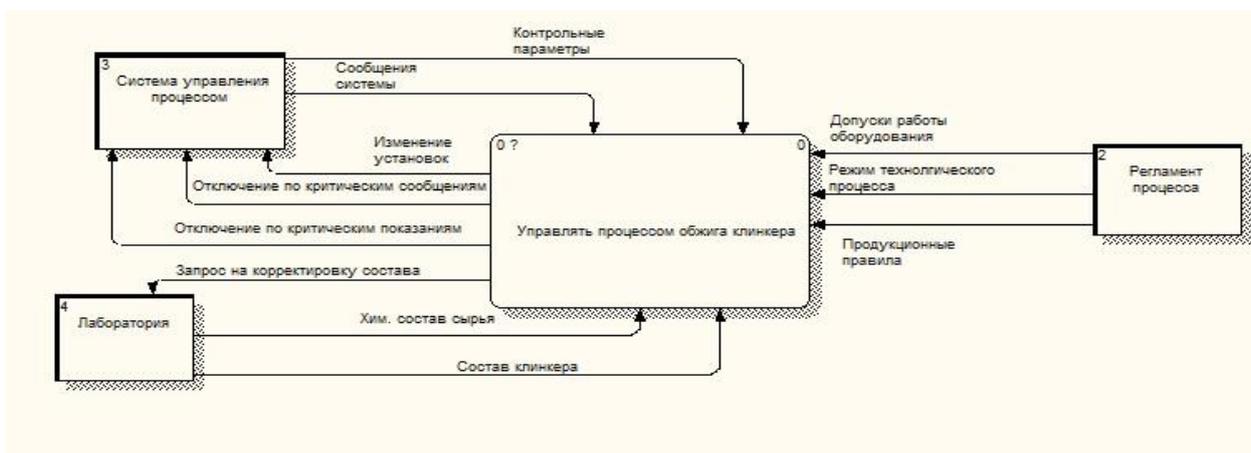


Рис. 3. Контекстная модель управления обжигом клинкера оператором (DFD)
Pic. 3. Clinker burning control by operator context model (DFD)

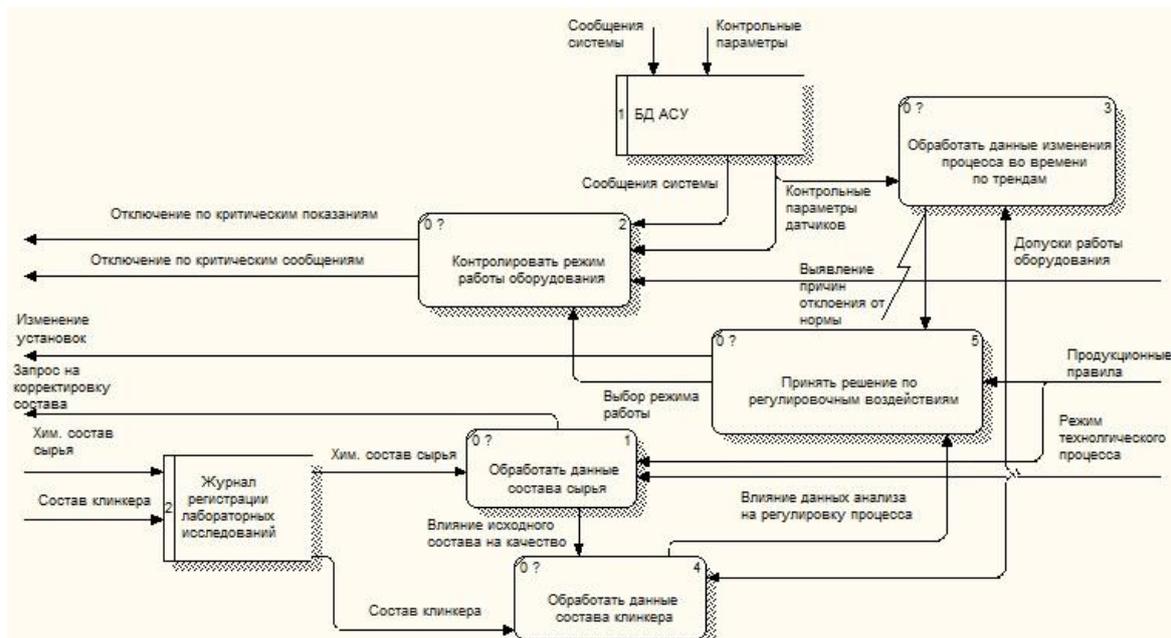


Рис. 4. Декомпозиционная модель управления обжигом клинкера оператором (DFD)
Pic. 4. Clinker burning control by operator decomposition model (DFD)

Контекстная модель показывает, что в ходе управления процессом происходит взаимодействие с системой управления и лабораторией с учетом регламента процесса. В системе управления непрерывно регистрируются все данные, приходящие с измерительных приборов, также эти данные сохраняются в базе данных. По всем данным можно построить графики изменения показаний во времени. На практике это существенно важный инструмент для анализа, как всего процесса в целом, так и его декомпозиций. Так как в режиме реального времени почти невозможно отследить тенденции показаний в ту или иную сторону или их постоянство. Помимо этого, в системе управления для каждого регистрируемого параметра предусмотрены так называемые пороговые значения. Существуют минимальные и максимальные предупреждающие пороговые значения, а также минимальные и максимальные отключающие пороговые значения. Когда тот или иной измеряемый параметр находится в предупреждающем интервале, на пульте формируется соответствующее сообщение. При достижении значений, лежащих в отключающем интервале, происходит отключение всех функционально связанных агрегатов и подпроцессов. Например, при падении скорости воздушного потока (разрежение) в одном из циклонных теплообменниках останавливается подача сырья, или при остановке подачи сырья по каким-либо причинам, происходит тушение газовых горелок в реакторе-декарбонизаторе.

Оператор каждый час получает и фиксирует в журнале данные химических анализов сырьевой муки (параметры материала на входе в процесс) и клинкера (параметры готового продукта на выходе). При отклонении состава исходного сырья оператор делает запрос на его корректировку путем изменения соотношения компонентов. Качество сырьевой муки в высокой степени влияет на качество готового продукта и на процесс обжига. Поэтому, при изменении исходного состава оператор должен принять решение о внесении соответствующих корректировок.

При принятии решений по регулировочным воздействиям, оператор руководствуется технологическим регламентом, учитывая нормативные документы по контролю качества, особенности технологического процесса, допуски по режиму работы оборудования. При изменении параметров процесса оператор использует некоторые производственные правила, основанные на базовых знаниях, опыте управления производством и т.д. Например, при наблюдении тенденции к охлаждению зоны спекания необходимо повысить расход газа, при росте показаний СО (угарный газ), в зависимости от других параметров необходимо либо снизить расход газа на горение, либо увеличить объем воздуха на горение (средствами работы холодильника или изменением общей аспирации).

Ниже в таблице одновременно представлены некоторые примеры отклонения процесса обжига цементного клинкера от нормы, их возможные причины возникновения, действия оператора для стабилизации процесса, а также действия оператора с учетом работы с предлагаемой поддерживающей АС. Таблица одновременно показывает сложность управления процессом, а также преимущества предлагаемой АС.

Таблица

Краткий анализ причин отклонения от нормы процесса обжига и способы его нормализации

Table

A brief analysis of the causes of the violation of the clinker burning process and ways to stable it

Возможные изменения параметров	Причины	Необходимые действия оператора	Действия оператора с учетом работы АС
Резкий рост температуры в реакторе-декарбонизаторе	- сбой работы в подаче питания (меньше, чем должно быть) - наблюдается «провал» материала, минуя ректор-декарбонизатор - самопроизвольное увеличение подачи топлива на горелки	Выявить причину отклонения: максимально быстро проверить текущие показания питания, разрежения на участках системы, текущий расход топлива, отследить их изменения по трендам, на основании вывода применить соответствующие регулировки	Система в реальном времени отслеживает изменение параметров питания, разрежения, расхода топлива, при отклонении о нормы выявляет причины изменения параметров, по изученным закономерностям Оператор применяет необходимые действия.
Появление и рост концентрации в составе отходящих газов СО	Недожог топлива: - нарушение скорости и количества газового потока. - излишняя подача топлива - неправильное распределение вторичного/ третичного воздуха/избыточного воздуха	Выявить причину отклонения: - максимально быстро проверить текущие показания разрежения на всех участках - изучить температуру избыточного воздуха - выявить по температурам на всех участках общее тепловое состояние системы - проверить характеристики работы двигателей дымососов и вентиляторов. На основании вывода принять соответствующие решения.	Система постоянно контролирует допустимые рабочие характеристики двигателей, предупреждает об их критических изменениях, контролирует изменение остальных параметров, выявляет влияние на изменение другими показателями, выдает соответствующие сообщения.
Готовый продукт неудовлетворительного качества (высокое содержание оксида кальция)	Недожог материала: плохая подготовка материала в теплообменниках и реакторе-декарбонизаторе - недостаточно тепла в зоне спекания печи - изменение состава сырья	- анализ оператором исходного состава сырья по данным лаборатории - выявить по температурам на всех участках общее тепловое состояние системы - проверить изменение в подаче питания.	Система функционально наделена прогнозом качества готового продукта на основании состава входного сырья с учетом текущего режима обжига. Предупреждает оператора о возможных отклонениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опираясь на приведенную модель действий оператора, а также на практический опыт работы предприятия можно сделать вывод о том, что обжиг клинкера является сложным недостаточно формализованным объектом управления. Оператору необходимо часто принимать решения по регулировке этого процесса, ввиду отклонения некоторых параметров. Из приведенных примерах о производственных правилах можно увидеть, что добиться целевых показателей, зачастую, можно разными способами. Но это не означает, что выбор любого из них имеет место, в связи с тем, что процесс является инерционным, следовательно изменение одних параметров оказывает воздействие на другие параметры и подпроцессы, что может привести к нежелательным последствиям.

С другой стороны, оператор при работе с большим объемом информации не может охватить и своевременно обработать весь комплекс данных, поступающих от системы управления, а выделяет только несколько основных параметров, упуская из вида иные, по его мнению несущественные данные.

В связи с этим целесообразна разработка такой интеллектуальной информационной системы, которая поможет оператору производить комплексный анализ состояния технологического процесса в режиме реального времени, спрогнозировать характеристики на выходе из процесса с учетом входных данных и особенностей протекания процесса обжига.

С учетом вышеизложенного, а также принимая во внимание сложность математического описания процесса обжига клинкера, целесообразно использовать искусственную нейронную сеть в основе предлагаемой системы. Имея огромный массив данных, характеризующих протекание процесса, возможно обучить систему всем закономерностям, отклонениям от нормального хода технологического процесса, выявлению причин таких отклонений, а также прогнозированию качества готового продукта.

Список литературы

1. Древицкий Е. Г., Добровольский А. Г., Коробок А. А. Повышение эффективности работы вращающихся печей. – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
2. Дуда В. Цемент/ Пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана: Под ред. Б. Э. Юдовича. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Дуда В. Цемент: Электрооборудование, автоматизация, хранение, транспортирование: Справ. Пособие / Сокр. пер. с англ. Р. Д. Айтмуратова; Под ред. Б. Э. Юдовича и И. А. Прозорова. – М.: Стройиздат, 1987. – 373 с.
4. Классен В.К. Основные принципы и способы управления цементной вращающейся печью//Цемент и его применение. – 2004. – №2. – С.39-42.
5. Нусс М.В., Классен В.К., Трубаев П.А. Модель процесса обжига цементного клинкера // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 6. – С. 58-60
6. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие / С.И. Маторин., О.А. Зимовец – Белгород: Изд-во НИУ «БелГУ», 2012. – 277 с.

References

1. Drevitsky E. G., Dobrovolsky A. G., Korobok A. A. Improving the performance of rotary kilns. – М.: stroiizdat, 1990. – 224 p.
2. Duda V. Cement / Trans. with him. E. Sh. Feldman: Ed. B. E. Yudovich. – М.: stroiizdat, 1981. – 464 p.
3. Duda V. Cement: Electrical equipment, automation, storage, transportation: Right. manual / Abbr. per. from English R. D. Aytmuratov; Under ed. B. E. Yudovich and I. A. Prozorov. – М.: stroiizdat, 1987. – 373 p.
4. Klassen V.K. The basic principles and methods of control cement rotary kiln // Cement and its application. – 2004. – №2. – P.39-42.
5. Nuss, M.V., Klassen, V.K., Trubaev, P.A. Model of the process of roasting of a cement clinker // Fundamental research. – 2006. – № 6. – p. 58-60
6. System Theory and Systems Analysis: Study Guide / S.I. Matorin., O.A. Zimovets – Belgorod: Publishing House of the National Research University "BelSU", 2012. – 277 p.

Резников Никита Григорьевич, студент Белгородского государственного национального исследовательского университета» (НИУ «БелГУ»)

Щербинина Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем

Забнин Сергей Александрович, инженер, ООО «ИТИС»

Reznikov Nikita Grigorievich, student of «Belgorod State National Research University» (NRU «BelSU»)

Shcherbinina Natalia Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Information and Robotic Systems

Zabnin Sergey Aleksandrovich, engineer, Intelligent Technologies and Systems

УДК 621.391.7; 519.876.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-7

Жихарев А.Г.¹
Маторин С.И.²
Белов А.С.³

СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО КАНАЛЬНОГО СИГНАЛА

¹⁾ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

²⁾ ЗАО «СофтКоннект», ул. Студенческая, д. 19, корпус 1, г. Белгород, 308018, Россия

³⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: matorin@softconnect.ru, Belov_AS@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе рассматривается задача разработки системно-объектной имитационной модели технологических операций, реализуемых при формировании комбинированного канального сигнала с требуемыми характеристиками. Для разработки модели используется метод системно-объектного имитационного моделирования, реализуемый в программном комплексе UFOModeler. В соответствии с исчислением систем как функциональных объектов, рассматривается проектирование структурных компонент системно-объектной модели технологических операций. Здесь формулируются наборы потоковых и узловых объектов модели. Далее разрабатываются алгоритмы функционирования каждой выделенной технологической операции. Разработанная системно-объектная модель реализуется с применением программного инструментария имитационного моделирования процессов и систем UFOModeler. Полученная модель позволяет имитировать процесс линейно-частотной модуляции сигнала в реальном режиме времени. Причем в системно-объектной модели реализован механизм модуляции комбинированного сигнала за счет использования частотно-временной матрицы, конфигурация которой, в свою очередь, зависит от заданных уровней структурной и энергетической скрытности.

Ключевые слова: комбинированный канальный сигнал; системно-объектная модель; уровень структурной скрытности; линейно-частотная модуляция; частотно-временная матрица; система связи.

UDC 621.391.7; 519.876.5

Zhikharev A.G.¹
Matorin S.I.²
Belov A.S.³

SYSTEM-OBJECT SIMULATION MODELING OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS FORMING A COMBINED CHANNEL SIGNAL

¹⁾ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

²⁾ CJSC «SoftConnect», 19 cor.1 Student St., Belgorod, 308023, Russia

³⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: matorin@softconnect.ru, Belov_AS@bsu.edu.ru

Annotation

The paper considers the task of developing a system-object simulation model of technological operations implemented during the formation of a combined channel signal with the required characteristics. To develop the model, the method of system-object simulation is used, implemented in the UFOModeler software package. In accordance with the calculus of systems as functional objects, the design of structural components of a system-object model of technological operations is considered. Here sets of stream and nodal objects of the model are formulated. Further, algorithms for the functioning of each distinguished technological operation are developed. The developed system-object model is implemented using software tools for simulation of processes and UFOModeler systems. The resulting model allows you to simulate the process of linear-frequency modulation of the signal in real time. Moreover, the system-object model implements the modulation mechanism of the combined signal through the use of a time-

frequency matrix, the configuration of which, in turn, depends on the given levels of structural and energy secrecy.

Keywords: combined channel signal; system-object model; level of structural secrecy; linear-frequency modulation; time-frequency matrix; communication system.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Современный этап развития общества характеризуется непрерывным увеличением удаленного взаимодействия между абонентами и запросов пользователей о предоставлении различного вида мультисервисных услуг с требуемым качеством независимо от места их нахождения, который в настоящее время в основном реализуется на основе беспроводных информационных коммуникаций, одним из видов которых являются спутниковые информационные коммуникации (СИК). Значимость этих систем для передачи информации существенно возросла после принятия соответствующих решений Правительством РФ по освоению территорий Арктических широт. Однако интенсивное увеличение количества указанных систем, одновременно осуществляющих передачу информации по каналам с ограниченными частотно-временными ресурсами, приводит к возникновению интерференционных помех т.к. в них реализуется принцип частотного и временного разделения адресов. Кроме этого, существенному снижению качества информационного обмена в спутниковых информационных коммуникациях способствуют различного вида источники мешающих воздействий в виде естественных помех и доплеровского рассогласования по частоте. В настоящее время проблема повышения помехоустойчивости современных спутниковых информационных коммуникаций интенсивно исследуется [1, с.3]. Кроме того, актуальной остается задача формирования комбинированных канальных сигналов, которые при передаче по каналу спутниковой связи, при нахождении спутника-ретранслятора на высокоэллиптической орбите обеспечивает заданные уровни структурной и энергетической скрытности.

Для решения подобного рода задач авторами предложен метод системно-объектного имитационного моделирования процессов и систем, который ранее был опробован в области решения задач, связанный с разработкой симулятора процессов модуляции сигнала [2, с. 5].

ПРОБЛЕМА

Как было сказано выше, актуальной остается задача создания новых сложных комбинированных сигнально-кодовых конструкций с целью информационной коммуникации с заданными уровнями структурной и энергетической скрытности. Для создания таких решений, как правило, используются специальные системы инженерных расчетов. Однако подобные программные платформы не позволяют отследить процесс функционирования модели в реальном режиме времени, более того, не решается задача системного анализа таких процессов.

Содержательная проблема рассматриваемой предметной области заключается в следующем: сигнально-кодовые конструкции, используемые для передачи сигнала от источника сообщения до его получателя должны обеспечивать заданные уровни энергетической и структурной скрытности, сохраняя при этом свойства инвариантности к доплеровскому рассогласованию по частоте. В соответствии с [3, с. 8], помехозащищенность системы передачи информации определяется ее скрытностью и помехоустойчивостью. В свою очередь, скрытность системы можно разбить на три показателя: энергетическая скрытность характеризуется способностью системы противостоять мерам, направленным на обнаружение сигнала разведывательными приемными устройствами; структурная скрытность характеризуется способностью противостоять мерам радиотехнической разведки, направленным на раскрытие сигнала; информационная скрытность определяется способностью системы противостоять мерам, направленным на раскрытие семантических аспектов передаваемой информации. Таким образом, скрытность системы можно представить в виде:

$$p_p = p_{\text{обн}} * p_{\text{стр}} * p_{\text{инф}}, \quad (1)$$

где: p_p – вероятность разведки сигнала; $p_{обн}$ – вероятность обнаружения сигнала; $p_{стр}$ – вероятность раскрытия параметров сигнала; $p_{инф}$ – вероятность раскрытия смысла передаваемого сообщения [3, с. 10]. В работе мы рассматриваем энергетическую и структурную скрытность сигнала, поэтому примем за условие, что $p_{инф}=1$. Таким образом, обозначив требуемые уровни энергетической и информационной скрытности как: $p'_{обн}$ и $p'_{стр}$, а показатели моделируемой системы передачи информации как $p_{обн}$ и $p_{стр}$, соответственно, формально проблему можно записать в следующем виде:

$$p_{обн} \leq p'_{обн}; p_{стр} \leq p'_{стр} \quad (2)$$

МЕТОДЫ

Для моделирования сигнально-кодовых конструкций авторы применяют метод системно-объектного имитационного моделирования процессов и систем [4]. Системно-объектная модель в терминах исчисления систем как функциональных объектов [5] представляет собой следующее выражение:

$$M = L, S, \quad (3)$$

где: M – модель системы; L – множество потоковых объектов модели, элементы которого имеют вид объекта, которые не имеет методов и имеет лишь поля (4):

$$l = [r_1, r_2, \dots, r_k], \quad (4)$$

где:

- $l \in L$;
- k – количество полей потокового объекта l ;
- r_1, r_2, \dots, r_k – поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение».

S – множество узловых объектов модели, элементы которого описываются следующей формой (5):

$$s = [U, f, O], \quad (5)$$

где:

- U – представляет собою множество полей для описания интерфейсных потоковых объектов узлового объекта s .
- f – представляет собою метод узлового объекта s , описывающий функцию преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы) $L_?$ в выходящие – L_l .
- O – представляет собою множество полей для описания объектных характеристик узлового объекта (системы) s .

Причем, узловые объекты модели M представляют собой ключевые элементы модели, а множество потоковых объектов – определяет отношения между узловыми объектами модели. Представление узлового объекта запишем в более подробном виде (6):

$$s = [(L_?, L_l); f(L_?)L_l; (O_?, O_l, O_f)], \quad (6)$$

где:

- $(L_?, L_l) = U$ – интерфейс системы;
- $f(L_?)L_l = f$ – функция системы;
- $(O_?, O_l, O_f)$ – объект системы, а именно, объектные характеристики, которые непосредственно влияют на поведение системы за счет ее функционирования.

Если структурные и объектные характеристики системы представляю собой «параметры» системы, то функция представляет собой зависимость выхода от входа. В соответствии с исчислением систем как функциональных объектов [5], если набор входных потоковых объектов системы $L_? = [l_{?1}, l_{?2}, \dots, l_{?n}]$, а набор исходящих потоковых объектов $L_l = [l_{l1}, l_{l2}, \dots, l_{lm}]$, тогда функция узлового объекта может быть записана следующим выражением:

$$f L_?, t L_1 = \begin{matrix} l_{11} \cdot r^*: l_{11} \cdot r^* = \varphi_1 L_? ; delay = t_1; \\ l_{12} \cdot r^*: l_{12} \cdot r^* = \varphi_2 L_? ; delay = t_2; \\ \dots \\ l_{1m} \cdot r^*: l_{1m} \cdot r^* = \varphi_m L_? ; delay = t_m; \end{matrix} \quad (7)$$

где, оператор *delay* – моделирует временную задержку на преобразование входа в выход продолжительностью t_m , а функция φ_m представляет собой формальную зависимость поля выходного потокового объекта $l_{1j} \cdot r^*$ от набора входных значений $L_?$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим подробнее системно-объектную модель технологических операций, реализуемых при формировании комбинированного канального сигнала с требуемыми характеристиками, в общем виде модель представим выражением (8):

$$M_{\text{сигн}}=(L,S) \quad (8)$$

В соответствии с методикой построения системно-объектной модели, рассмотрим подробнее компоненты модели, представленной выражением (8). Выделим в множестве потоковых объектов модели следующие элементы:

- $P_{\text{ош}}(t)=[p_{\text{ош}}]$ – потоковый объект представляет собой вероятность ошибки в канале связи и содержит одно поле, где хранится значение вероятности;
- $S(t)=[s]$ – потоковый объект представляет собой сообщение, которое необходимо передать по каналу связи, имеет одно поле для хранения текущего передаваемого разряда;
- $S'(t)=[s']$ – потоковый объект представляет собой сообщение, полученное на стороне адресата, содержит одно поле для хранения текущего декодированного разряда сообщения;
- $U(t)=[u]$ – потоковый объект представляет собой модулированный сигнал, передаваемый по каналу связи, содержит одно поле для хранения мгновенной энергии сигнала;
- $Y(t)=[y]$ – потоковый объект представляющий сигнал на входе в демодулятор, содержит одно поле для хранения мгновенной энергии сигнала;
- $\Pi(t)=[\pi]$ – потоковый объект представляющий помехи, воздействующие на сигнал в канале связи, имеет одно поле для хранения значения мгновенной энергии помехи;
- $\text{ПСП}=[r_1, r_2, \dots, r_m]$ – потоковый объект – представляет собою псевдослучайную двоичную последовательность, поле потокового объекта $\text{ПСП}.r_n$ – разряд двоичной последовательности, n – размерность последовательности;
- $\text{ЧВМ}=[k_1, k_2, \dots, k_m]$ – потоковый объект представляет собой частотно-временную матрицу. Состоит из m полей, где m – размер линейно-частотной матрицы. Линейно-частотная матрица размера $m \times m$ может содержать значения ноль или единицу, причем в одном столбце матрицы может содержаться лишь одна единица, поэтому такую матрицу удобно кодировать в виде массива, элементы которого представляют собой номер строки где указана единица, пример линейно-частотной матрицы и, соответствующего ей потокового объекта представлены ниже:

$$A_{\text{ЧВМ}} = \begin{matrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}; \text{ЧВМ}=[1,3,2] \quad (9)$$

- Размер $\text{ЧВМ} = [cvm]$ – потоковый объект предназначенный для хранения размера частотно-временной матрицы, для матрицы представленной в выражении (9) значение будет равно трем, соответственно.

Таким образом, множество потоковых объектов модели примет следующий вид:

$$L=\{ P_{\text{ош}}(t), S(t), S'(t), U(t), Y(t), \Pi(t), \text{ПСП}, \text{ЧВМ}, \text{Размер ЧВМ} \} \quad (10)$$

Далее рассмотрим множество узловых объектов модели. Для решения поставленных задач были выделены следующие узловые объекты:

1. Источник сообщения;
2. Оценка уровня помеховой обстановки;
3. Генератор частотно-временной матрицы;

4. Генератор псевдо-случайной последовательности;
5. Формирование комбинированного канального сигнала;
6. Канал связи;
7. Генератор помех;
8. Демодулятор;
9. Декодер канала;
10. Декодер источника;
11. Получатель сообщения.

Фактически перечень узловых объектов представляет собой модули системы передачи информации, а также технологические операции, необходимые для формирования комбинированного канального сигнала. Причем, модулятор кодер канала и отправителя отдельно не выделяем, так как все данные манипуляции учтены в узловом объекте номер 4. Рассмотрим подробнее структурные характеристики узловых объектов.

Источник сообщения далее для краткости будем обозначать ИС, имеет следующие вид:

$$\text{ИС} = [\{\emptyset, S(t)\}; \{f(\emptyset)S(t)\}; \{\emptyset\}], \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что в системно-объектной модели источник сообщения представлен в виде генератора передаваемого сообщения. Данный узловой объект не имеет входных связей, а в качестве выхода выступает потоковый объект $S(t)$.

Оценка уровня помеховой обстановки (ОУПО) – узловой объект, моделирующий технологическую операцию по оценке уровня помеховой обстановки. Формально данный узловой объект имеет следующий вид:

$$\text{ОУПО} = [\{S'(t), \Pi(t); P_{\text{ош}}(t)\}; \{f(S'(t), \Pi(t)) P_{\text{ош}}(t)\}; \{\emptyset\}] \quad (12)$$

Результатом реализации данной технологической операции является значение вероятности ошибки в канале передачи информации, поэтому в качестве входных параметров выступают оценка помехи канала передачи информации и декодированной сообщение – для оценки вероятности приема бита информации с ошибкой.

Генератор псевдо-случайной последовательности (ГПСП) – узловой объект, моделирующий технологическую операцию по формированию ПСП с различными структурными свойствами. Рассмотрим формальный вид данного узлового объекта:

$$\text{ГПСП} = [\{P_{\text{ош}}(t); \text{ПСП}\}; \{f(P_{\text{ош}}(t))\text{ПСП}\}; \{\emptyset; \emptyset; K_{\text{сс}}, n\}] \quad (13)$$

Результатом работы данной технологической операции является сгенерированная псевдослучайная последовательность с заданными структурными характеристиками, причем в качестве меры используется коэффициент структурной сложности $K_{\text{сс}}$, который выступает в качестве интегрального показателя, характеризующего внутренние зависимости между отдельными битами генерируемой псевдо-случайной последовательности. Также в качестве объектной характеристики имеется возможность регулировать размер регистра, используемого для генерации псевдо-случайной последовательности. Рассмотрим подробнее метод узлового объекта для частного случая (генератор с линейным обратным сдвигом). Алгоритм реализации данного метода представлен на рисунке 1. Для рассматриваемого случая алгоритм выполняется в реальном режиме времени, генерируя бит за битом. Сперва инициализируются счетчики, необходимые для работы, а также создается регистр в виде массива S , для которого устанавливается длина, заданная в соответствующей объектной характеристике. После чего массив инициализируется случайным образом. Далее организован бесконечный цикл – для генерации бит псевдослучайной-последовательности в режиме реального времени. Во вспомогательную переменную заносится результат операции «исключающее или» третьего, шестого и первого разрядов регистра (здесь имеется возможность регулировать правило формирования нового бита информации для получения требуемых структурных характеристик псевдо-случайной последовательности). После расчета нового бита последний разряд присваивается выходящему потоковому объекту и происходит сдвиг регистра на одну позицию вперед, при этом первому элементу регистра присваивается результат операции «исключающее

или», рассчитанный ранее. После этого вызывается функция, проверяющая генерируемую псевдо-случайную последовательность на соответствие заданному коэффициенту структурной сложности.

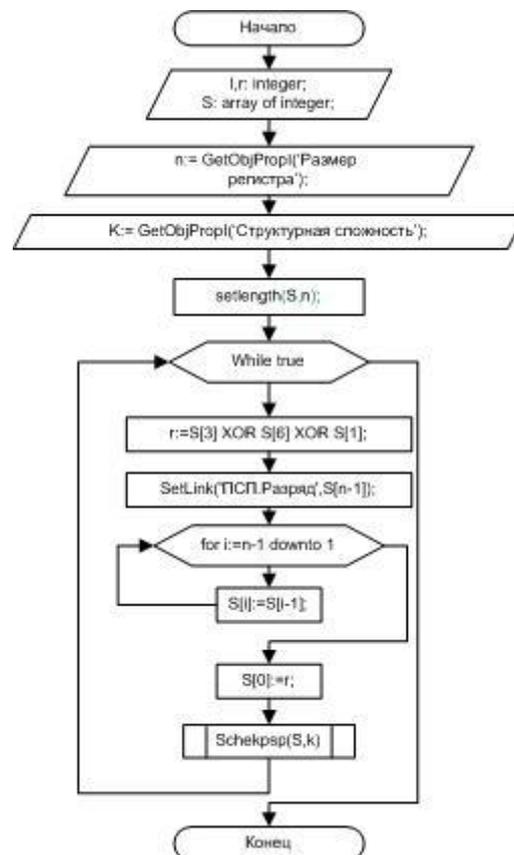


Рис. 1. Алгоритм реализации метода узлового объекта ГПСП
Fig. 1. Algorithm for implementing the nodal object method

Далее рассмотрим ключевой узловой объект модели, который, собственно, и формирует сигнал – ФККС. Формальный вид данного узлового объекта представлен ниже:

$$\text{ФККС} = [\{ \text{ПСП, ЧВМ, } P_{\text{ош}}(t), \text{ Размер ЧВМ, } S(t); u(t) \}; \{ f(\text{ПСП, ЧВМ, } P_{\text{ош}}(t), \text{ Размер ЧВМ, } S(t)) u(t) \}; \{ \emptyset; \emptyset; N, F_{\text{max}}, F_{\text{min}}, T_s, dt \}] \quad (14)$$

Структурную часть узлового объекта составляют входные потоковые объекты: псевдо-случайная последовательность – используется для кодирования нуля и единицы исходного передаваемого сообщения, частотно-временная матрица – используется для повышения структурной скрытности сигнала, вероятность ошибки, размер частотно-временной матрицы, передаваемое сообщение. Результатом работы данной технологической операции является мгновенная энергия сформированного канального сигнала. Объектные характеристики данного узлового объекта отражают основные параметры модулируемого сигнала. Важно отметить, что в рассматриваемом примере применяется линейно-частотная модуляция, поэтому в качестве объектных характеристик задаются минимальная и максимальная частоты сигнала, размер псевдо-случайной последовательности, время передачи одного разряда, и размер дискретизации по времени.

Метод узлового объекта модулирует сигнал, алгоритм модуляции представлен на рисунке 2.

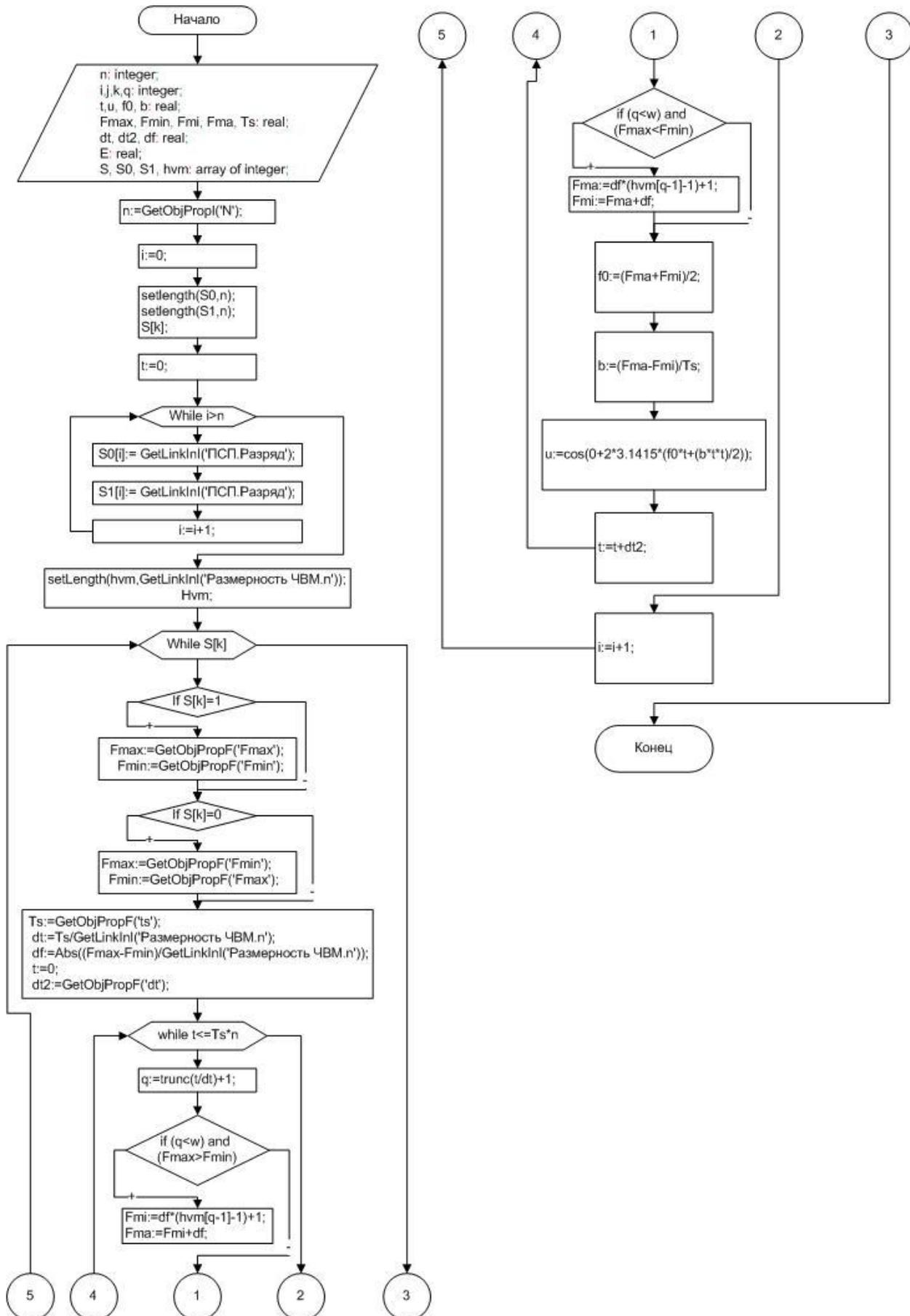


Рис. 2. Алгоритм реализации метода узлового объекта ФККС
Fig. 2. Algorithm for implementing the nodal object method

Представленный на рисунке 2 алгоритм метода узлового объекта реализует технологическую операцию по формированию комбинированного канального сигнала с использованием частотно-временной матрицы. Причем величина наклонов линейно-частотных радиоимпульсов зависит от значения поднесущей частоты, используемой для передачи элемента псевдослучайной последовательности. Сперва в алгоритме предусмотрена инициализация двух массивов для нуля и для единицы. В массивы записывается псевдослучайная последовательность, сгенерированная соответствующим узловым объектом. Далее организуется цикл по массиву исходного сообщения. Каждый разряд передаваемого сообщения заменяется одной из двух инициализированных псевдослучайных последовательности. Далее если текущий разряд ПСП равен единице, максимальная и минимальная частоты инициализируются из соответствующих объектных характеристик. Если разряд нулевой – максимальная и минимальная частоты инвертируются. Далее рассчитываются параметры частотно-временной матрицы. Логика расчетов следующая: определяется номер временного периода матрицы, после чего рассчитываем минимальную и максимальную частоты для текущего периода. Таким образом, данная технологическая операция позволяет формировать комбинированный канальный сигнал с использованием частотно-временной матрицы.

Рассмотрим подробнее технологическую операцию, реализующую формирование частотно-временной матрицы. Формальное представление узлового объекта представлено в выражении (15):

$$ГЧВМ = [\{P_{\text{ош}}(t); ЧВМ, \text{Размер ЧВМ}\}; \{f(P_{\text{ош}}(t)) \text{ ЧВМ, Размер ЧВМ}\}; \{\emptyset; \emptyset; P_{\text{обн}}, P_{\text{стр}}\}] \quad (15)$$

Генератор частотно-временной матрицы в зависимости от вероятности возникновения ошибки, а также в соответствии с заданными уровнями энергетической и структурной скрытности генерирует частотно-временную матрицу. Процесс формирования требуемой комбинации матрицы реализуется с использованием алгоритма обратного восстановления. В рамках алгоритма, в качестве энергии решения используется соответствие текущей комбинации частотно-временной матрицы заданным уровням энергетической и структурной скрытности.

Все оставшиеся узловые объекты модели представляю собой модули принимающей стороны, общий графоаналитический вид модели представлен на рисунке 3.

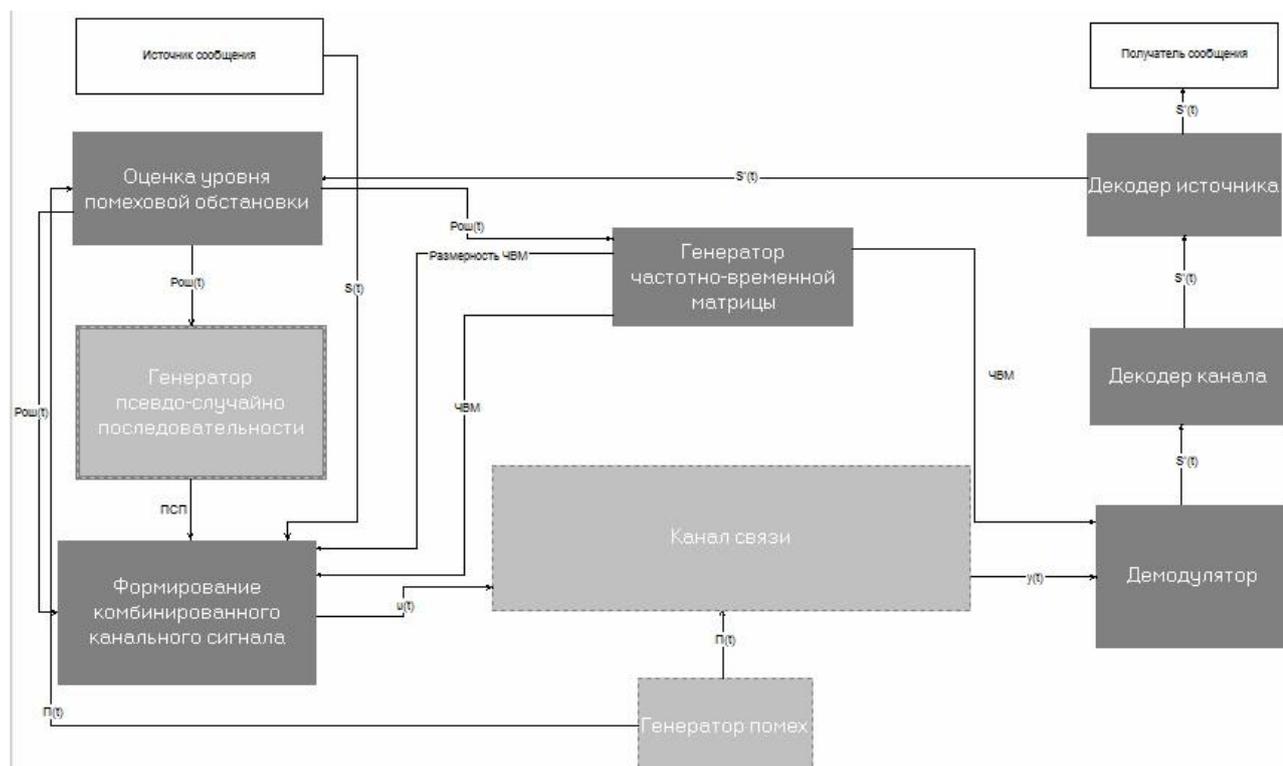


Рис. 3. Графоаналитическое представление системно-объектной модели
Fig. 3. Graph-analytical representation of a system-object model

После запуска модели на исполнение, был протестирован генератор псевдослучайной последовательности на соответствие заданным структурным характеристикам. Графический вид генерируемой псевдослучайной последовательности представлен на рисунке ниже:

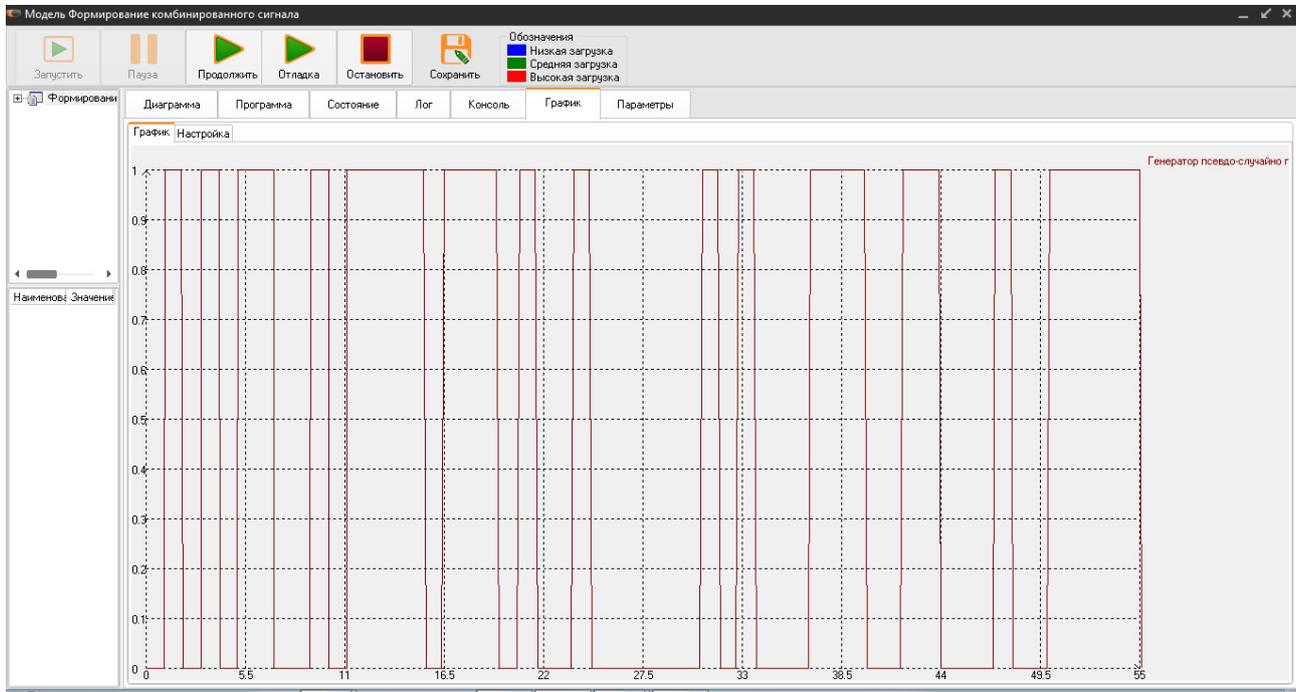


Рис. 4. Визуализация псевдослучайной последовательности
Fig. 4. Pseudo-random sequence visualization

Также были проведены ряд симуляций по формированию комбинированного канального сигнала. Сформированный сигнал для передачи единицы представлен на рисунке ниже:

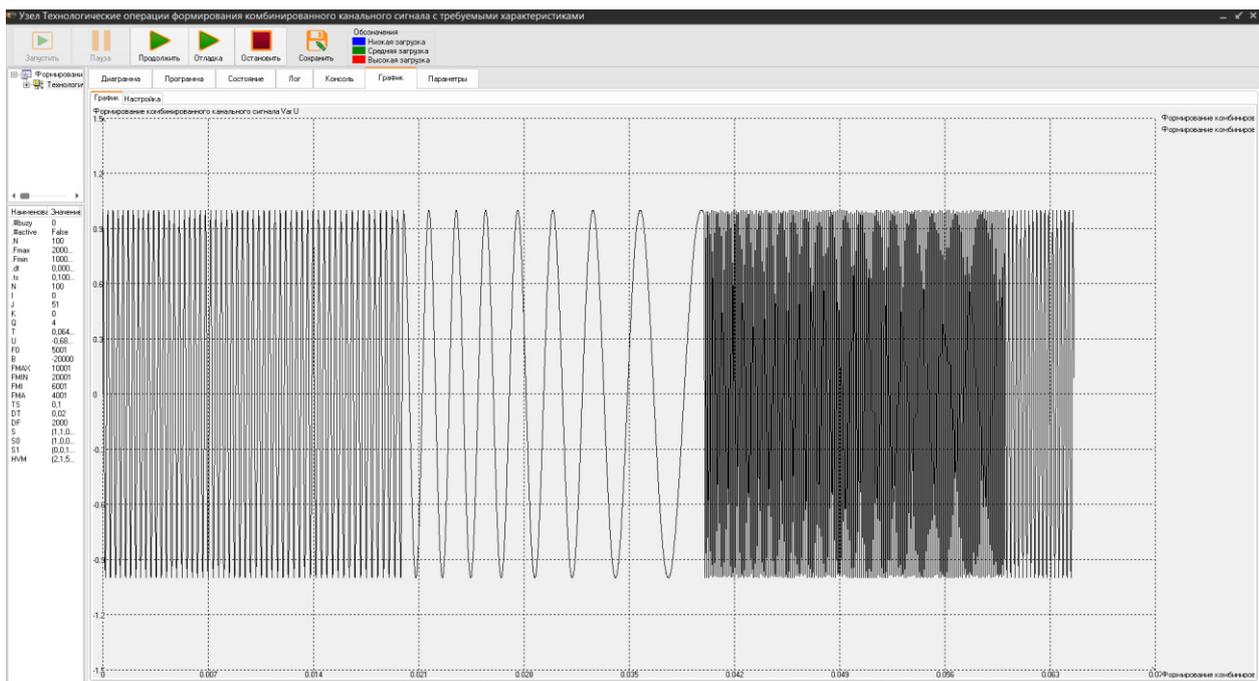


Рис. 5. Пример сформированного комбинированного сигнала
Fig. 5. An example of a generated combined signal

Сформированный сигнал для передачи нуля представлен на рисунке 6:

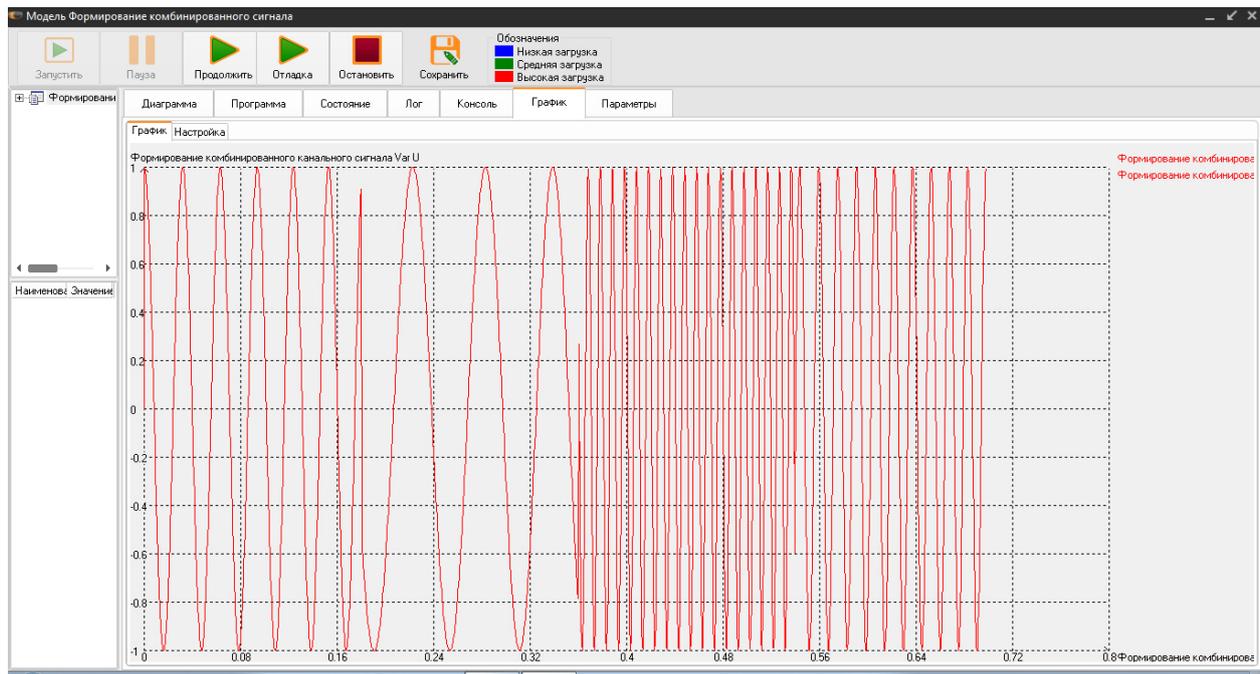


Рис. 6. Пример сформированного комбинированного сигнала

Fig. 6. An example of a generated combined signal

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная системно-объектная модель технологических операций, реализуемых при формировании комбинированного канального сигнала с заданными уровнями энергетической и структурной скрытности, позволяет симулировать процесс модуляции сложного канального сигнала. Модель является удобным инструментом для разработки и отработки параметров модуляции. Можно сделать вывод, что разработанный сигнал удовлетворяет установленным требованиям.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-07-00356.

Список литературы

1. Рачинский С.А. Разработка и исследование помехоустойчивых сигнально-кодовых конструкций для спутниковых информационных коммуникаций в Арктических широтах [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.13.17) / Белов Сергей Павлович; Белгородский государственный национальный исследовательский университет. – Белгород, 2019. – 23 с.
2. Жихарев А.Г., Белов С.П., Рачинский С.А. Перспективы системно-объектного имитационного моделирования систем передачи информации // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика, информатика. – Том 46, № 3, 2019 г.
3. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И., Урядников Ю.Ф., Дергачев Ю.А., Сулиманов А.А. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под. ред. Тузова Г.И. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
4. Zhikharev, A., Matorin, S., Egorov, I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10(10 Special Issue), pp. 1806-1812, 2018 г.
5. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 679, pp. 182-191, 2018.

References

1. Rachinsky S.A. Development and research of noise-resistant signal-code structures for satellite information communications in the Arctic latitudes [Text]: author. dis. for a job. scientist step. Cand. tech. Sciences (05.13.17) / Belov Sergey Pavlovich; Belgorod State National Research University. – Belgorod, 2019. – 23 p.
2. Zhikharev A.G., Belov S.P., Rachinsky S.A. Prospects for system-object simulation of information transmission systems // Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Series: economics, computer science. – Volume 46, No 3, 2019
3. Tuzov G.I., Sivov V.A., Prytkov V.I., Uryadnikov Yu.F., Dergachev Yu.A., Sulimanov A.A. Interference immunity of radio systems with complex signals / Under. ed. Tuzova G.I. – M.: Radio and communications, 1985. – 264 p.
4. Zhikharev, A., Matorin, S., Egorov, I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10 (10 Special Issue), pp. 1806-1812, 2018.
5. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 679, pp. 182-191, 2018.

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке и инновациям

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Software and Automated Systems

Matorin Sergey Igorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy General Director for Science and Innovation

Belov Alexander Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

УДК 621.391.7; 519.876.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-8

Егоров И.А.¹
Бузов А.А.²
Забнин С.А.¹
Зайцев А.Н.¹

**ФОРМАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕДУР ОПТИМИЗАЦИИ
СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ
ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ**

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

²) АО «ОЭЗ «ВЛАДМИВА»», ул. Студенческая, д. 19, г. Белгород, 308018, Россия

e-mail: 888615@bsu.edu.ru, buzov@mail.ru, 509725@bsu.edu.ru, 433044@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе рассматриваются некоторые методы оптимизации системно-объектных имитационных моделей процессов и систем. С целью повышения эффективности системно-объектного анализа организационно-деловых и производственно-технологических процессов за счет совершенствования теоретических и инструментальных средств оптимизации системно-объектных имитационных моделей авторами сформулированы некоторые принципы оптимизации, которые рассматриваются в статье. В работе показано, что оптимизация системно-объектной модели, в первую очередь, требуется с целью установления соответствия модели общесистемным принципам и закономерностям. При построении имитационных моделей авторы руководствуются, в том числе, обобщенной характеристикой системы – мерой системности. В данной статье предложена оптимизация системно-объектной имитационной модели на примере организационно-управленческой модели «руководитель-подчиненные» в среде «UFOModeler». Обосновывается, что сформулированные принципы оптимизации позволяют перейти к разработке методов оптимизации структурных, функциональных и объектных параметров сходных моделируемых систем. Также, следует отметить, что рассматриваемые в работе принципы оптимизации системно-объектных имитационных моделей не являются исчерпывающими.

Ключевые слова: системно-объектная модель; оптимизация модели; общесистемные принципы и закономерности; UFOModeler; принцип моноцентризма.

UDC 621.391.7; 519.876.5

Egorov I.A.¹
Buzov A.A.²
Zabnin S.A.¹
Zaitsev A.N.¹

**FORMAL BASES OF OPTIMIZATION PROCEDURES
OF SYSTEM-OBJECT IMITATION MODELS OF PROCESSES
AND SYSTEMS**

¹) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

²) JSC «SEZ «VLADMIVA»», 19 Studentcheskaya St., Belgorod, 308018, Russia

e-mail: 888615@bsu.edu.ru, buzov@mail.ru, 509725@bsu.edu.ru, 433044@bsu.edu.ru

Annotation

The paper discusses some optimization methods for system-object simulation models of processes and systems. In order to increase the efficiency of the system-object analysis of organizational, business and industrial-technological processes by improving the theoretical and instrumental means of optimizing system-object simulation models, the authors formulated some optimization principles that are considered in the article. The paper shows that the optimization of the system-object model, first of all, is required in order to establish the conformity of the model with system-wide principles and patterns. When constructing simulation models, the authors are guided, inter alia, by the generalized characteristic of the system – a measure of systemicity. This article proposes the optimization of a system-object simulation model using the organizational-managerial model of "supervisor-subordinates" in the environment of "UFOModeler". It is proved that the formulated optimization principles allow us to proceed to the development of

optimization methods for structural, functional and object parameters of similar simulated systems. Also, it should be noted that the principles of optimization of system-object simulation models considered in the work are not exhaustive.

Keywords: system-object model; model optimization; system-wide principles and patterns; UFOModeler the principle of monocentrism.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Ввиду бурного развития науки и техники, в современном мире, разработчики, проектировщики, инженеры все чаще прибегают к применению имитационного моделирования как метода исследования объектов и процессов окружающего мира. Причем, следует отметить, что исследуемые объекты с каждым годом усложняются с точки зрения их структуры, поведения и управления такими объектами, в то же время, для исследования и управления такими сложными системами требуются соответствующие средства и методики. Одной из таких методик является – имитационное моделирование, благодаря которому имеются возможности построения симуляторов – специализированные программные комплексы, замещающие объект или процесс реального мира с достаточной степенью точности. Системно-объектное имитационное моделирование – современный метод построения имитационных моделей, основанный на оригинальном графоаналитическом подходе «Узел-Функция-Объект». Причем, главной особенностью системно-объектных имитационных моделей является возможность построения модели, соответствующей общесистемным принципам и закономерностям [1]. Актуальность рассматриваемых задач обуславливается необходимостью приведения моделируемых систем в соответствие общесистемным принципам и закономерностям, что показано в работе [2].

МЕТОДЫ

Для формальной постановки задачи воспользуемся положениями исчисления систем как функциональных объектов [3].

В терминах упомянутого выше исчисления, модель системы представлена в виде:

$$M = L, S, \quad (1)$$

где:

- M – модель системы;
- L – множество потоковых объектов модели, элементы которого представляют собою объекты, которые не имеет методов и имеют лишь поля:

$$l=[r_1, r_2, \dots, r_k], \quad (2)$$

где:

- $l \in L$;
- k – количество полей потокового объекта l;
- r_1, r_2, \dots, r_k – поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение»;
- S – множество узловых объектов модели.

Ранее авторами были сформулированы ряд методов оптимизации, которые подробно показаны в работе [4]. Рассмотрим некоторые формальные основы процедур оптимизации системно-объектных моделей систем, представляемых в терминах исчисления систем как функциональных объектов. Здесь в качестве критериев оптимальности, предлагается использовать, в первую очередь, некоторые общесистемные принципы и закономерности [1]. Рассмотрим подробнее принцип коммуникативности, согласно которому любая система должна быть связана множеством коммуникаций с окружающей средой (другими системами), иначе существование системы не имеет никакого смысла. Если рассматривать системно-объектную

модель вида (1), то в терминах исчисления систем, данный принцип можно формально представить в следующем виде:

$$\forall s \in S: \exists s. U = \emptyset \quad (3)$$

Так как, в терминах исчисления систем, связи узлового объекта с внешней средой представлены в форме его интерфейсных потоковых объектов $U=(L_?, L_!)$, тогда соответствие моделируемой системы принципу коммуникативности определяется отсутствием в модели узловых объектов, для которых множество интерфейсных потоковых объектов является пустым. Однако, может быть ситуация, когда, например, у узлового объекта имеются входные потоковые объекты и не имеется выходных потоковых объектов и наоборот, такая ситуация также противоречит принципу коммуникативности, поэтому данный принцип можно уточнить в следующей форме:

$$\forall s \in S: \exists s. L_? = \emptyset \parallel s. L_! = \emptyset \quad (4)$$

Таким образом, процесс оптимизации модели по принципу коммуникативности будет заключаться в связывании имеющихся узловых объектов с другими.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим пример оптимизации принципу коммуникативности модели организационно-делового процесса. Воспользуемся инструментарием для моделирования систем UFOModeler [5]. Представим модель следующего вида (Рис. 1).

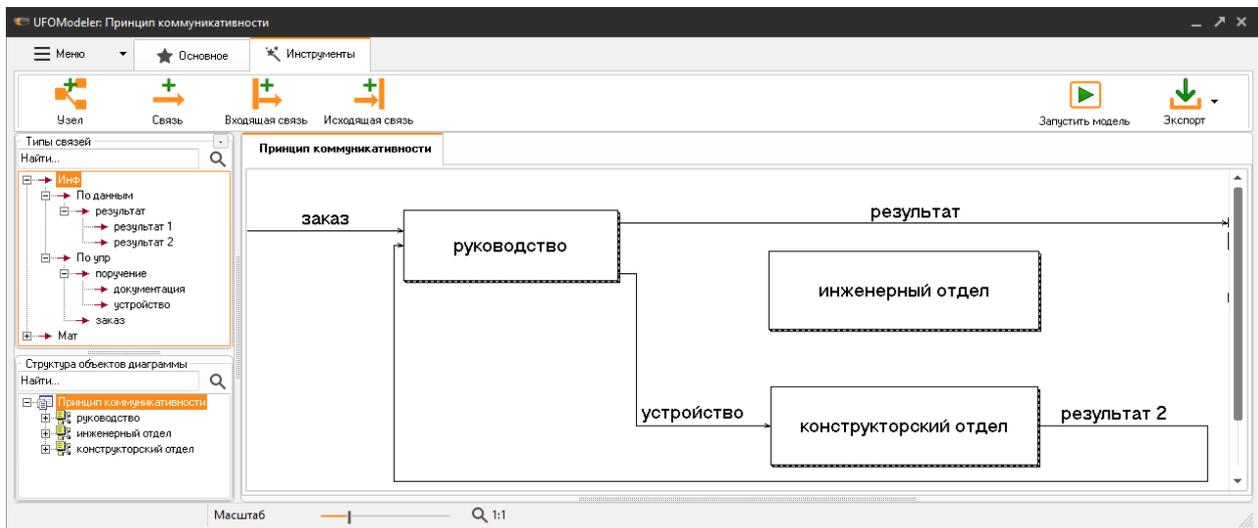


Рис. 1. Пример модели организационно-делового процесса
Fig. 1. An example of a business process model

Обозначим потоковые объекты модели, представленной модели:

- 11 – «документация» (на рисунке 1 обозначена в меню «Типы связей»);
- 12 – «результат 1» (на рисунке 1 обозначена в меню «Типы связей»);
- 13 – «устройство»;
- 14 – «результат 2»;
- 15 – «заказ»;
- 16 – «результат».

При этом каждый из потоковых объектов содержит поле потокового объекта: r1 – «количество».

Тогда множество потоковых объектов примет вид:

$$L = \{ l_1[r_1], l_2[r_1], l_3[r_1], l_4[r_1], l_5[r_1], l_6[r_1] \} \quad (5)$$

Приведем формальные имена узлов представленной выше модели:

- s_1 – «руководство»;
- s_2 – «инженерный отдел»;
- s_3 – «конструкторский отдел».

Тогда, согласно формальному описанию, множество узловых объектов будет выглядеть следующим образом:

$$S = \{ s_1[l_1 = \{l_4, l_5\}, l_1 = \{l_3, l_6\}; f(l_1)l_1; o], s_2[l_2 = \emptyset, l_1 = \emptyset; f(l_2)l_1; o], s_3[l_3 = \{l_3\}, l_1 = \{l_4\}; f(l_3)l_1; O] \} \quad (6)$$

В соответствии со структурой множества узловых объектов модели (6), в представленной модели организационно-делового процесса узел «руководство» имеет входной интерфейс $l_1 = \{l_4, l_5\}$, через который контролирует результаты выполнения поручений (сборка устройства) конструкторским отделом и получает заказы от надсистемы, а также имеет выходной интерфейс $l_1 = \{l_3, l_6\}$, через который выдает поручения для исполнения узлам подсистемы и предоставляет результат работы над заказом надсистеме. Узел «конструкторский отдел» принимает поручения в обработку через входящий интерфейс $l_1 = \{l_3\}$. При выполнении поручения конструкторский отдел отчитывается о выполнении перед руководством через выходной интерфейс $l_1 = \{l_4\}$.

Стоит отметить, что потоковые объекты l_1, l_2 объединяющие узлы «руководство» и «инженерный отдел» отсутствуют, в таком случае, инженерный отдел будет простаивать из-за отсутствия поручений (составление документации) к исполнению. Таким образом, рассматриваемая модель не отвечает принципу коммуникативности. Проведем оптимизацию по принципу коммуникативности. Применим к рассматриваемой модели операторы присоединения:

$$s_1 \xrightarrow{l_1} s_2; s_2 \xrightarrow{l_2} s_1 \quad (7)$$

Выполним действие (7) на диаграмме модели и запустим модель в среде UFOModeler на выполнение в реальном времени. Результаты оптимизации модели представлены ниже (Рис. 2).

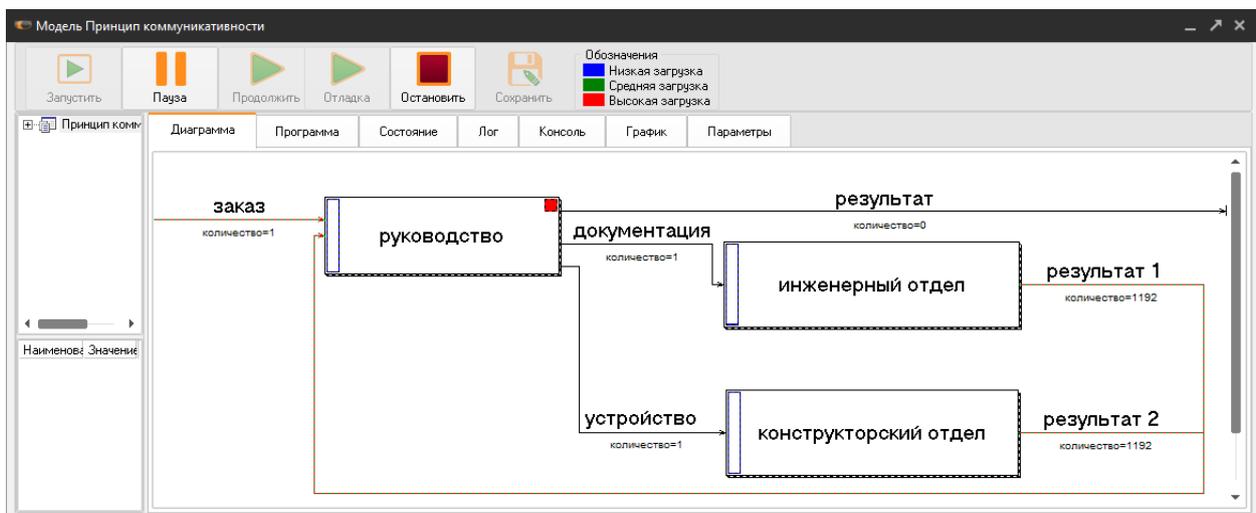


Рис. 2. Функционирование оптимизированной модели

Fig. 2. Optimized Model Performance

Динамика поступления новых поручений и их выполнения отделами с течением времени приведена ниже (рис. 3).

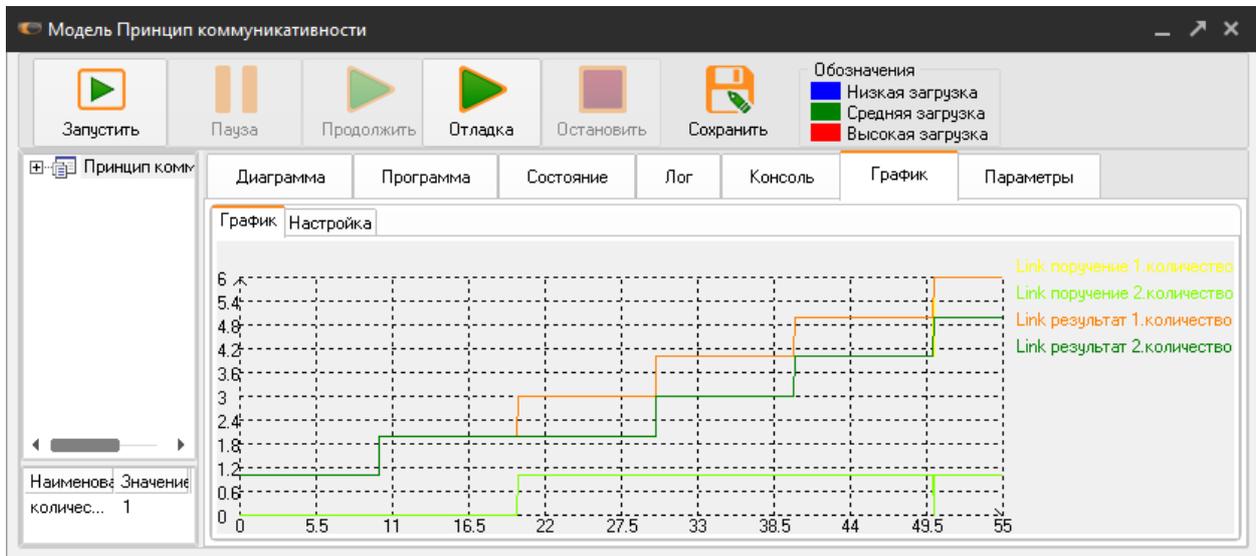


Рис. 3. Рост количества выполненных поручений в оптимизированной модели
Fig. 3. Growth in the number of completed orders in an optimized model

Из графика видно, что с течением времени растет количество выполненных поручений обоими отделами, при этом к исполнению принимается в каждый момент времени одно новое поручение.

Таким образом, если какой-либо узел системы не коммуницирует с внешним миром через собственные интерфейсы, то система является неоптимальной с точки зрения принципа коммуникативности. Стоит отметить, что такая организация, в которой узлы не связаны потоковыми объектами не сможет в полной мере функционировать, что приведет в итоге к снижению заинтересованности в её услугах и снижению количества заказов.

Далее рассмотрим процесс оптимизации модели по принципу обратной связи, согласно которому устойчивость в сложных динамических системах достигается за счет замыкания петель обратных связей. Формально, данный принцип можно представить в виде следующего выражения:

$$\exists s_i \in S, s_j \in S: l_m \in s_i \cdot L?, l_m \in s_j \cdot L!, l_n \in s_j \cdot L?, l_n \in s_i \cdot L! \quad (8)$$

Соответственно, оптимизация модели по принципу обратной связи заключается в присоединении соответствующими видами связей узловых объектов, используя операцию присоединения.

Приведем пример оптимизации организационно-правовой модели системы по принципу обратной связи. Составим модель в среде UFOModeler, как представлено ниже (рис. 4).

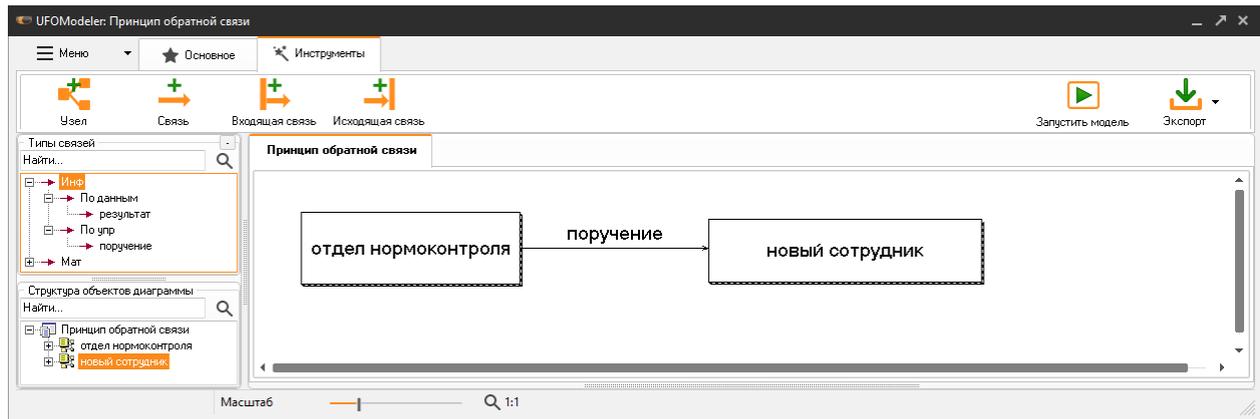


Рис. 4. Пример замкнутых связей системы
Fig. 4. An example of closed system connections

Обозначим потоковые объекты модели, представленной модели:

- l_1 – «поручение»;
- l_2 – «результат» связь между новым сотрудником и отделом отсутствует на диаграмме (на рисунке 4 наличие связи отражено в окне «Типы связей»).

Аналогично предыдущему примеру, представленные потоковые объекты обладают полем потокового объекта: r_1 – «количество». Множество потоковых объектов будет представлено следующим образом:

$$L = \{ l_1[r_1], l_2[r_1] \} \quad (9)$$

Имена узлов, представленных в модели:

- s_1 – «отдел нормоконтроля»;
- s_2 – «новый сотрудник».

Формальное описание множества узловых объектов представлено ниже:

$$S = \{ s_1[l_1 = \emptyset, l_1 = \{l_1\}; f(l_1)l_1; O], s_2[l_2 = \{l_1\}, l_2 = \emptyset; f(l_2)l_2; O] \} \quad (10)$$

В модели рассматривается организация испытательного срока нового сотрудника в отделе нормоконтроля.

Узел «отдел нормоконтроля» выдает поручение через выходной интерфейс $l_1 = \{l_1\}$ к исполнению. Узел «новый сотрудник» принимает поручение через входной интерфейс $l_2 = \{l_1\}$ и приступает к выполнению поручения.

Однако, из-за отсутствия связи l_2 между отделом нормоконтроля, в лице руководителя отдела, не может контролировать процесс выполнения новым сотрудником поручений. Руководитель отдела не может оценить среднюю скорость выполнения поручений сотрудником:

- сотрудник выполнил все поручения, но не сообщает руководству о готовности выполнения новых поручений;
- сотрудник не справляется с переданными ему поручениями, отдел передает на выполнение слишком большое количество поручений.

Таким образом, производительность труда резко снижается. Рассматриваемая модель не отвечает принципу обратной связи.

Проведем оптимизацию по принципу обратной связи. Осуществим присоединение связи l_2 и запишем действие в виде выражения:

$$s_2 \xrightarrow{l_2} s_1 \quad (11)$$

Добавим потоковый объект l_2 на диаграмму модели. Далее запустим модель на исполнение в реальном времени (Рис. 5).

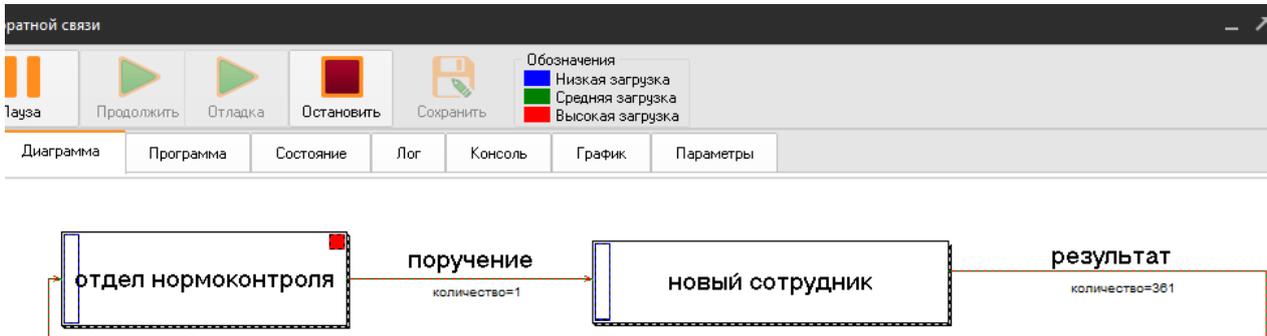


Рис. 5. Выполнение оптимизированной модели в реальном времени
Fig. 5. Real time optimized model execution

Динамика роста количества выполненных поручений, и количества принятых к исполнению поручений коррелирует с предыдущим примером. График динамики аналогичен рисунку 3.

Стоит отметить негативный аспект в функционировании структурных единиц предприятий при несвоевременном отчете сотрудников об исполнении поручений.

Таким образом, с целью повышения производительности труда, если существует связь «руководитель-подчиненный», то для увеличения эффективности производства необходима оптимизация по принципу обратной связи.

Далее рассмотрим, вытекающий из принципа коммуникативности, принцип моноцентризма, согласно которому устойчивая система обладает одним центром, а полицентричность приводит к нарушению процессов координации, что в перспективе обуславливает потерю целостности [6].

Формально принцип моноцентризма можно представить в следующем виде:

$$\forall s \in S: \exists s. L_7 = \{l_1\} \parallel s. L_l = \{l_1, l_2 \dots l_m\} \quad (12)$$

Таким образом, оптимизация модели (1) по принципу моноцентризма заключается в устранении потоковых связей, которые позволяют нарушить процесс координации подчиненных объектов. Устранение связей осуществляется следующими методами:

- объединение управляющих объектов через выходные потоковые объекты;
- выстраивание иерархии среди управляющих объектов.

В первом случае объекты надсистемы формируют один общий управляющий потоковый объект. Данный метод применим при выполнении дополнительных условий для узлов s_i и s_j , у которых $L_{i1} = L_{j1}$ и $O_{i1} = O_{j1}$. То есть, управляющие объекты должны иметь одинаковые выходные интерфейсы и подобные потоковые объекты.

Во втором случае оптимизация по принципу моноцентризма может быть достигнута через выстраивание цепочки управляющих объектов в иерархию, таким образом, каждый последующий объект становится подчиненным вышестоящему вплоть до целевого. При этом каждый объект в выстроенной иерархии при формировании собственного управляющего сигнала учитывает, что ему было передано через входной интерфейс от вышестоящего узла. В результате каждый объект цепочки оказывает свое опосредованное управляющее воздействие на конечный объект.

Рассмотрим в качестве примера модель организационно-делового процесса, в которой приведен механизм взаимодействия структурных единиц научно-производственного предприятия при осуществлении планирования предстоящих задач. Модель составлена в среде UFOModeler (рис. 6).

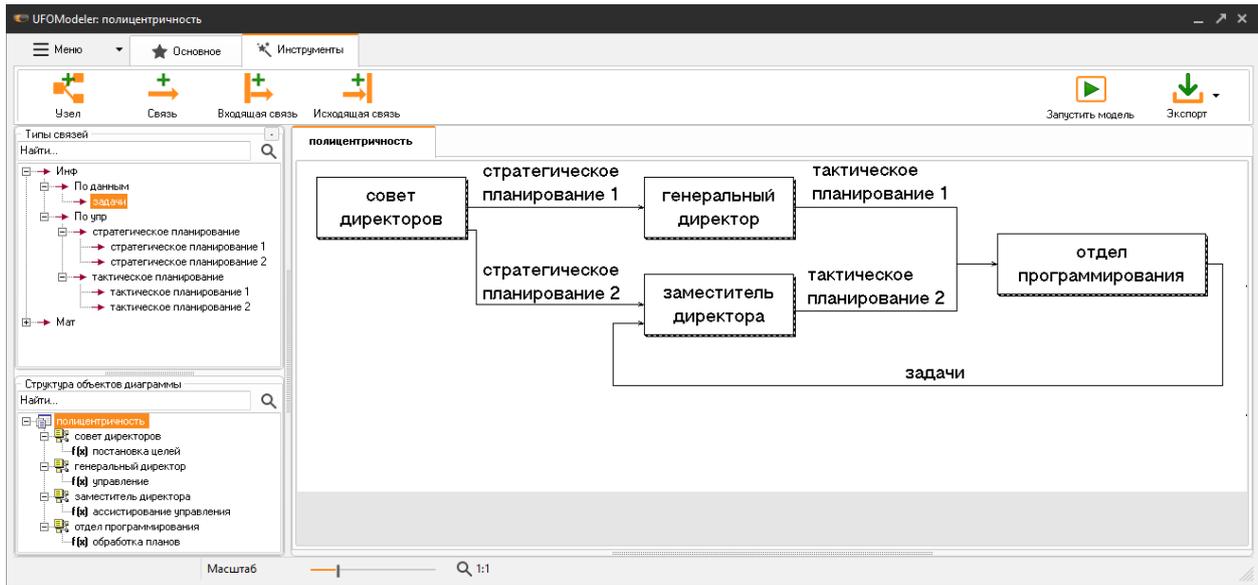


Рис. 6. Модель научно-производственного предприятия
Fig. 6. Model of a research and production enterprise

Данная модель не отвечает требованиям принципа моноцентризма, так как на диаграмме присутствуют связи «тактическое планирование 1» и «тактическое планирование 2», которые могут оказывать на объект узла «отдел программирования» взаимно-антагонистическое управляющее воздействие, которое, в конечном счете нарушает целостность системы. Результат выполнения имитации такой модели в реальном времени в отношении производительности узла «отдел программирования» сводится к графику функции, обозначенного на рисунке 3 салатным цветом (меньшая эффективность).

Приведем список объектов, участвующих в составлении формального описания оптимизационных действий над моделью. Поточковые объекты в представленной модели обозначим следующим образом:

- l_1 – «стратегическое планирование 1»;
- l_2 – «стратегическое планирование 2»;
- l_3 – «тактическое планирование 1»;
- l_4 – «тактическое планирование 2»;
- l_5 – «задачи».

При этом потоковые объекты l_1 - l_4 обладают полем потокового объекта r_1 – «план» строкового типа, а потоковый объект l_5 – r_0 – «выполнено» целочисленного типа. Соответственно множество потоковых объектов примет вид:

$$L = \{ l_1[r_1], l_2[r_1], l_3[r_1], l_4[r_1], l_5[r_0] \} \quad (13)$$

Приведем формальные имена узлов представленной выше модели:

- s_1 – «совет директоров»;
- s_2 – «генеральный директор»;
- s_3 – «заместитель директора»;
- s_4 – «отдел программирования».

Тогда, согласно формальному описанию, множество узловых объектов будет выглядеть следующим образом:

$$S = \{ s_1[l_7 = \emptyset, l_1 = \{l_1, l_2\}; f(l_7)l_1; O], s_2[l_7 = \{l_1\}, l_1 = \{l_3\}; f(l_7)l_1; o], s_3[l_7 = \{l_2, l_5\}, l_1 = \{l_4\}; f(l_7)l_1; O], s_4[l_7 = \{l_3, l_4\}, l_1 = \{l_5\}; f(l_7)l_1; O] \} \quad (14)$$

В модели узлы s_1, s_2, s_3 осуществляют управляющее воздействие через связи согласно выстроенной иерархической структуре предприятия. Управляющее воздействие отражается, во-первых, в целях, которые вынес узел s_1 , в виде стратегического плана перед старшим менеджментом предприятия (узлы s_2, s_3), во-вторых, в сформулированных тактических задачах, которые ставит старший менеджмент предприятия перед отделами (для примера взят отдел программирования, узел s_4). О выполнении задач узел s_4 отчитывается перед узлом s_3 , передавая данные о количестве выполненных задач.

Также считаем, что входные интерфейсы узлов s_2 и s_3 получили равные значения полей потоковых объектов, что является важным критерием при рассмотрении примера оптимизации методом «выстраивания иерархии среди управляющих объектов».

Разделим на два шага оптимизацию по методу «объединения управляющих объектов через выходные потоковые объекты». На первом шаге необходимо объединить узлы s_2 и s_3 в общую подсистему «старший менеджмент» (рис. 7).

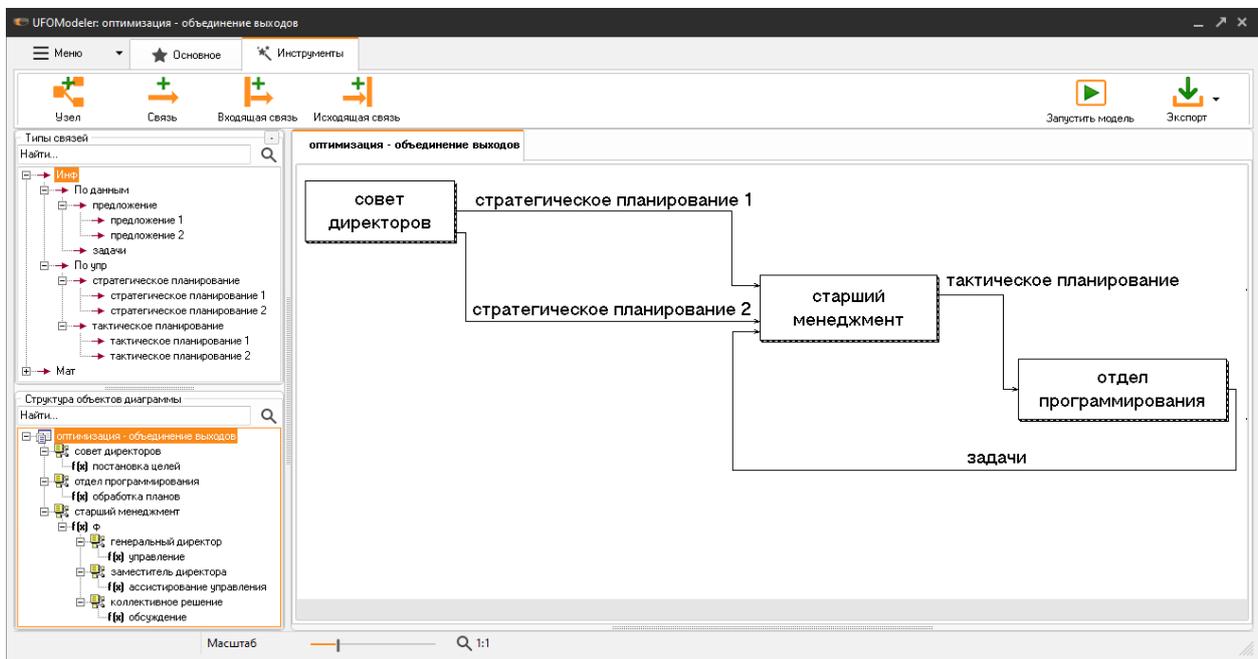


Рис. 7. Объединение менеджмента предприятия в общую подсистему

Fig. 7. Combining enterprise management into a common subsystem

Обозначим подсистему «старший менеджмент» через множество S^* . Присоединим входные потоковые объекты l_1 и l_2 , а также выходной потоковый объект «тактическое планирование» l_8 . Таким образом, потоковые объекты l_3 и l_4 более не имеют смысла и будут удалены из множества L . Формально, приведенное выше действие можно записать следующим образом:

$$L = L \setminus l_3, l_4, s_1 \xrightarrow{l_1} S^*, s_1 \xrightarrow{l_2} S^*, S^* \xrightarrow{l_8} s_4 \quad (15)$$

Тогда множество S^* будет содержать следующие элементы:

$$S^* = \{ s_2[l_7 = \{l_1\}, l_1 = \{l_3\}; f(l_7)l_1; 0], s_3[l_7 = \{l_2, l_5\}, l_1 = \{l_4\}; f(l_7)l_1; 0] \} \quad (16)$$

Удалим из множества S узлы, которые образуют подсистему S^* , и образуем новое множество узлов S' оптимизированной модели:

$$S = S \setminus S^*, S' = S \cup S^* \quad (17)$$

Далее опишем сформированную подсистему S^* . В ней представлены узлы «генеральный директор» s_2 , «заместитель директора» s_3 . Дополним подсистему узлом «коллективное решение» s_{23} , показывающий совместную обработку данных двух узлов.

Стоит отметить, что объединение узлов по выходу в среде UFOModeler достижимо через создание третьего узла и добавление двух новых потоковых объектов l_6 – «предложение 1» и l_7 – «предложение 2», отвечающих за передачу выдвинутого на обсуждение решения в узел s_{23} (аналог объединения потоковых объектов), и далее подсистема формирует выходной потоковый объект l_8 (рис. 8).



Рис. 8. Выстраивание узловых объектов подсистемы «старший менеджмент»

Fig. 8. Alignment of nodal objects of the subsystem "senior management"

Представим формальное описание выполнения второго шага рассматриваемого метода:

$$s_2 \xrightarrow{l_6} s_{23}, s_3 \xrightarrow{l_7} s_{23}, s_{23} \xrightarrow{l_8} s_4 \Rightarrow s_{23}[l_2=\{l_6, l_7\}, l_1=\{l_8\}; f(l_2)l_1; o], S^* = S' \cup \{s_{23}\} \quad (18)$$

Так как в формальном представлении узел s_{23} является имитацией объединения потоковых объектов при сопутствующем изменении функции объекта для узла s_3 .

$$s_3.f \Leftarrow [f(l_{73})l_{13} \rightarrow f(l_{22}, l_{23})l_{12}; l_{22}; l_{13} \rightarrow l_{12}; o_{13} \rightarrow o_{12}, o_{23}] \quad (19)$$

Запустим имитацию модели в реальном времени (рис. 9).

Из результатов работы модели видно, что через входные интерфейсы подсистема S^* получила управляющее воздействие от узла s_1 (поля r_1 потоковых объектов l_1 и l_2 содержат значение «создание современного ПО»).



Рис. 9. Оптимизация методом выстраивания иерархии среди управляющих объектов
Fig. 9. Optimization by building hierarchies among control objects

Далее представим работу как выглядит работа подсистемы S^* . Объекты узлов s_2 и s_3 , внесли предложения по реализации стратегического плана через потоковые объекты l_6 и l_7 на обсуждение (поле $l_6 \cdot r_1$ потокового объекта содержит значение «создание администраторской части»; поле $l_7 \cdot r_1$ потокового объекта содержит значение «создание пользовательской части»), пришли к общему мнению (поле r_1 потокового объекта l_8 содержит значение «создание администраторской части»), передали общее управляющее воздействие через потоковый объект l_7 , и, таким образом, входной интерфейс узла s_4 «отдел программирования» получил однозначное управляющее воздействие. В соответствии с поставленным тактическим планом отдел программирования выстроил оперативный план, в рамках которого необходимо реализовать 30 задач. Синий цвет в столбце прогресса в левой части узла «отдел программирования» означает количество выполненных задач. График функции выполнения задач с течением времени совпадает с функцией оранжевого цвета на рисунке 3.

Осуществим оптимизацию методом «выстраивания иерархии среди управляющих объектов». Изменим направление потокового объекта l_3 в исходной модели. Удалим связь между узлом s_2 и s_4 и организуем потоковый объект l_3 между узлами s_2 и s_3 (рис. 10).

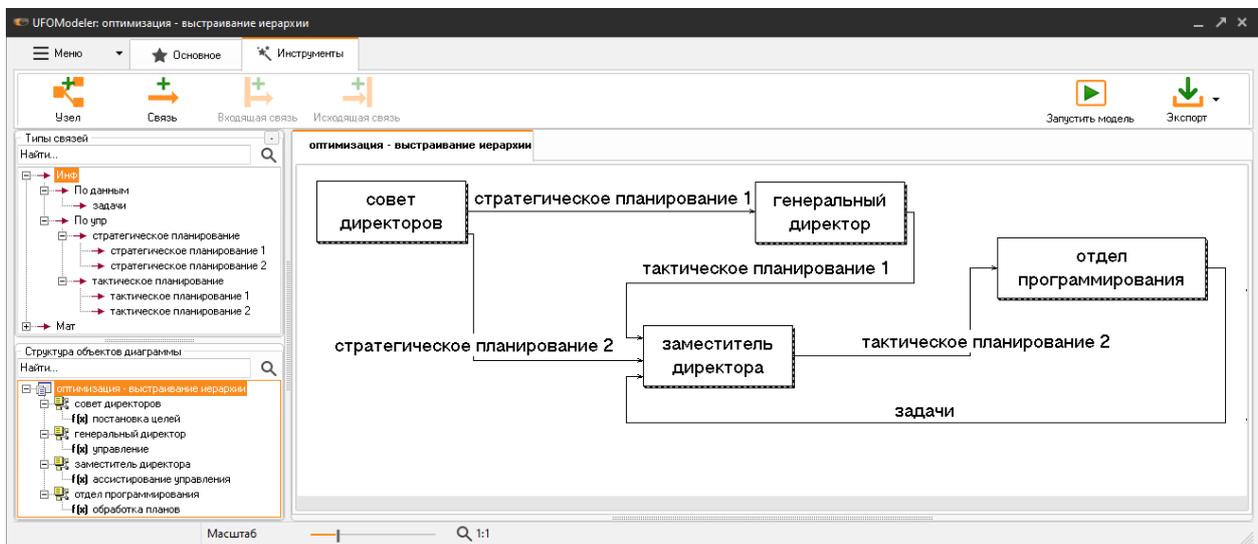


Рис. 10. Диаграмма взаимосвязей оптимизированной модели
Fig. 10. Optimized Model Relationship Diagram

Запишем формальное представление данного метода:

$$s_2 \cdot L_1 = L_1 \setminus \{l_3\}, s_4 \cdot L_2 = L_2 \setminus \{l_3\}, s_2 \xrightarrow{l_3} s_3 \quad (20)$$

Запустим модель на исполнение в реальном времени. Результат работы модели в целом сопоставим с результатом, представленным на рисунке 9. С тем различием, что управляющее воздействие, вынесенное узлом s_2 по отношению к узлу s_3 носит рекомендательный характер и может противоречить управляющему воздействию узла s_3 по отношению к узлу s_4 . Данный аспект отличает два описанных метода оптимизации. При этом, нельзя считать входящие в узел s_3 потоковые объекты l_2 и l_3 полицентрическими, так как оказываемое связями управляющее воздействие не противоречит друг другу (в основе управляющего воздействия потоковых объектов l_3 лежит управляющее воздействие узла s_1) и не нарушает координации управляемого объекта, следовательно, в данном случае принцип моноцентризма не нарушен.

ВЫВОДЫ

Таким образом, объект узла s_4 «отдел программирования», в оптимизированной по принципу моноцентризма модели, занимается решением задач, согласованных со всеми управляющими звеньями. При этом узел s_4 не испытывает дополнительного управляющего воздействия, что непременно скажется на скорости выполнения задач положительным образом.

Рассмотренные принципы оптимизации по соответствующим общесистемным принципам и закономерностям показывают, что наличие корректно выстроенных связей необходимо для создания эффективной, коммуницирующей системы. В то же время жизненный опыт любой организационной системы всегда доказывает, что соответствие предложенным принципами закономерностям делает организационную систему устойчивой к проявлениям внешней среды.

В перспективе на основе сформулированных принципов оптимизации системно-объектных моделей процессов и систем авторами будут разработаны методы и алгоритмы оптимизации моделей, что позволит автоматизировать данные процедуры.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 18-07-00355, № 19-07-00290 и № 19-07-00111.

Список литературы

1. С.И. Маторин, А.Г. Жихарев Общесистемные закономерности как содержательные элементы системной теории, основанной на системно-объектном подходе // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика, информатика, том 45, № 2, стр. 372-385, 2018 г.
2. Маторин С.И., Белов С.П., Жихарев А.Г. Учет общесистемных закономерностей при моделировании сложных систем средствами системно-объектного подхода // Наука. Инновации. Технологии, № 3, 2018, с. 7-21.
3. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 679, pp. 182-191, 2018.
4. Жихарев А.Г., Бузов А.А., Егоров И.А., Кузнецов А.В., Жинкина Ю.В. Оптимизация системно-объектных имитационных моделей. Часть 1. // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2019. – № 2. – Том 46. С. 311-325.
5. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О. Имитационное моделирование с использованием системно-объектного подхода. // Прикладная информатика. – 2015. – №6(60). – Выпуск 10.
6. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2-х книгах// Москва, «Экономика», 1989.

References

1. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev System-wide regularities as the content elements of a system theory based on a system-object approach // Scientific reports of Belgorod State University. Series: Economics, Informatics, Volume 45, No. 2, pp. 372-385, 2018.
2. Matorin S.I., Belov S.P., Zhikharev A.G. Taking into account system-wide laws when modeling complex systems using the system-object approach // Science. Innovation Technology, No. 3, 2018, pp. 7-21
3. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 679, pp. 182-191, 2018.
4. Zhikharev A.G., Buzov A.A., Egorov I.A., Kuznetsov A.V., Zhinkina Yu.V. Optimization of system-object simulation models. Part 1. // Scientific statements of BelSU. Ser. Economy. Informatics. – 2019. – No. 2. – Volume 46.S. 311-325.
5. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zaitseva N.O. Simulation using a system-object approach. // Applied Informatics. – 2015. – No. 6 (60). – Issue 10.
6. Bogdanov A. A. Tectology: General organizational science. In 2 books // Moscow, "Economics", 1989.

Егоров Илья Александрович, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

Бузов Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, технический директор

Забнин Сергей Александрович, аспирант кафедры информационных и робототехнических систем

Зайцев Анатолий Николаевич, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Egorov Ilya Alexandrovich, postgraduate student of the Department of Information and Robotic Systems

Buzov Andrey Anatolevich, Candidate of Technical Sciences, technical director

Zabnin Sergey Aleksandrovich, postgraduate student of the Department of Information and Robotic Systems

Zaitsev Anatoly Nikolaevich, postgraduate student of the Department of Applied Informatics and Information Technology

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 681.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-9

Бражников А.М.
Бражникова А.М.
Забержинский Б.Э.

О ПРЕЦИЗИОННОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО КОДА В НАПРЯЖЕНИЕ

Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, д. 244, г. Самара, 443100, Россия
e-mail: brazhnikova_98@mail.ru, zab.borislav@gmail.com

Аннотация

В статье изложена разработка высокоточного измерительного преобразователя сигналов широтно-импульсной модуляции в постоянное напряжение. Приводится обзор существующих типов преобразователей, анализируются их достоинства и недостатки. Обосновывается необходимость создания нового преобразователя. Предлагаемая схема устройства позволяет применять его в ряде специфических случаев, к примеру, для низкочастотных сигналов (вплоть до одиночных импульсов), а также для ШИМ с малой скважностью, без потери точности и разрешающей способности. В основу положен принцип заполнения импульса входного сигнала высокочастотными импульсами тактового генератора, последующим их подсчётом и преобразованием числа импульсов в напряжение посредством цифро-аналогового преобразователя с параллельным входом (резистивной матрице). В статье подробно рассмотрена работа преобразователя на примере структурной схемы, а также приведена его принципиальная электрическая схема, которая была протестирована средствами программного пакета Multisim. После проверки принципов работы преобразователя был собран его прототип. Сборка осуществлялась из готовых микросхем: счётчиков, регистров, элементов стандартной логики. Приводится описание его работы и характеристики, а также указываются отличительные особенности, в числе которых регулировка частоты тактового генератора, позволяющая контролировать заполнение входных импульсов отсчётами генератора, счетными импульсами независимо от частоты ШИМ. Это обеспечивает возможность применения преобразователя в обозначенных случаях. В заключение приведен расчёт погрешности. Среди факторов, оказывающих влияние на точность, выделены разрядность ЦАП, а также максимальная частота работы тактового генератора. Основным фактором, влияющим на нелинейность преобразователя, – разброс номиналов компонентов в резистивной матрице. Разработанная схема устройства отличается простотой, стабильностью работы, средствами программируемых логических интегральных микросхем (ПЛИС), что открывает широкие возможности по её внедрению в различные конструкции, где требуется с высокой точностью и скоростью осуществлять преобразование ШИМ сигнала в постоянное напряжение.

Ключевые слова: цифро-аналоговый преобразователь; широтно-импульсная модуляция; измерительный преобразователь; резистивная матрица; счётчики; микросхемы стандартной логики.

UDC 681.2

**Brazhnikov A.M.
Brazhnikova A.M.
Zaberzhinsky B.E.**

**ABOUT PRECISION DIGITAL-ANALOG CONVERTER
(PWM-VOLTAGE)**

Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St., 443100, Samara, Russia
e-mail: brazhnikova_98@mail.ru, zab.borislav@gmail.com

Annotation

The article describes the process of developing a high-precision measuring Converter of pulse-width modulation (PWM) signals into a constant voltage. The review of existing types of converters is given, their advantages and disadvantages are analyzed. The necessity of creating a new Converter is substantiated. The proposed scheme of the device allows it to be used in a number of specific cases, for example, for low-frequency signals (up to single pulses), as well as for PWM with low duty cycle, without loss of accuracy and resolution. The basis is the principle of filling the input pulse with high-frequency pulses of the clock generator, their subsequent calculation and conversion of the number of pulses into voltage by means of a digital-analog Converter with a parallel input (resistive matrix). The article describes in detail the operation of the Converter (block diagram), as well as its schematic diagram, which was tested by means of the software package Multisim. After checking the principles of operation of the Converter, its prototype was assembled. Assembly was carried out from ready chips: counters, registers, elements of standard logic. The description of its operation and characteristics are given, the distinctive features are indicated, including the frequency control of the clock generator, which allows controlling the process of filling the input pulses with the generator counts, regardless of the PWM frequency. This makes it possible to use the transducer in the above cases. In conclusion, the error calculation is given. Among the factors that affect the accuracy of the allocated bit width of the DAC, as well as the maximum frequency of the clock. The main factor affecting the linearity of the transducer – variation of the values of the components in the resistive matrix. The developed scheme of the device is simple, stable, repeatable means of programmable logic integrated circuits (FPGA), which opens up opportunities for its implementation in a variety of designs, which requires high accuracy and speed to convert PWM signal into DC voltage.

Keywords: digital-analog converter; pulse-width modulation; measuring converter; resistive matrix; counters; standard logic chips.

Современная электроника строится на основе цифровых схем. Однако, в некоторых задачах автоматического управления находят применение аналоговые сигналы. Для того чтобы согласовать работу микропроцессорного устройства и аналоговой схемы, необходим специальный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). На его вход информация подаётся по определённом протоколу (цифровому), с выхода снимается сигнал напряжения или тока. Разновидностью цифрового сигнала является широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Она получила широкое распространение благодаря простоте формированию и передачи ШИМ (требуется всего одна линия).

Принцип широтно-импульсной модуляции заключается в постоянной импульсной модуляции. Длительность импульсов и их амплитуда сохраняются неизменными.

В частности, такой сигнал применяется в системах радиуправления моделями. Он используется для передачи информации от контроллера (приёмника) к электронике, управляющей исполнительными устройствами (сервоприводами и регуляторами скорости). Особенности ШИМ в данном случае являются низкая частота работы (50-70Гц), а также малая скважность (отношение длительности сигнала к его периоду), колеблющаяся от 5% до 15% [2].

В частности, такой сигнал применяется в системах радиуправления моделями. Он используется для передачи информации от контроллера (приёмника) к электронике, управляющей исполнительными устройствами (сервоприводами и регуляторами скорости). Особенности ШИМ в данном случае являются низкая частота работы (50-70 Гц), а также малая скважность (отношение длительности сигнала к его периоду), колеблющаяся от 5% до 15% [2].

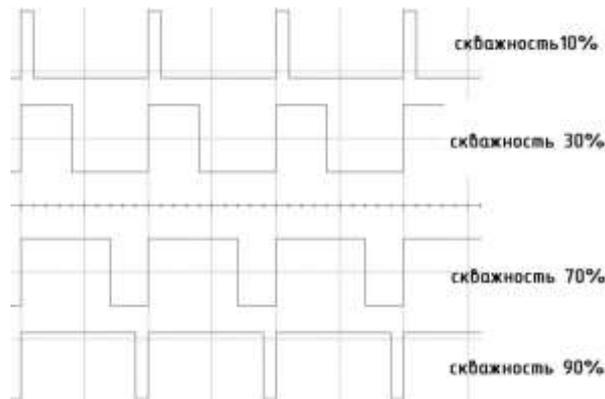


Рис. 1. Форма сигнала ШИМ
Fig. 1. PWM waveform

В частности, такой сигнал применяется в системах радиоуправления моделями. Он используется для передачи информации от контроллера (приёмника) к электронике, управляющей исполнительными устройствами (сервоприводами и регуляторами скорости). Особенности ШИМ в данном случае являются низкая частота работы (50-70 Гц), а также малая скважность (отношение длительности сигнала к его периоду), колеблющаяся от 5% до 15% [2].

Один из способов преобразования ШИМ в постоянное напряжение является использование интегрирующей RC цепочки (фильтра низких частот). Этот метод является наиболее простым, его реализация требует минимального количества компонентов, расчёт параметров цепочки также не представляет затруднений. Однако при детальном рассмотрении выявляется ряд недостатков, ограничивающих область применения метода. Один из факторов – наличие пульсаций напряжения на выходе, которые связаны с процессами заряда/разряда конденсатора, при малых значениях сопротивления и ёмкости амплитуда пульсаций может достигать значительных величин. При попытке увеличить постоянную времени цепочки возникает новая проблема – увеличивается длительность переходного процесса. При мгновенном изменении скважности входного сигнала напряжение на выходе схемы изменяется крайне медленно. В некоторых случаях такая задержка неприемлема. Ещё одним недостатком интегрирующей цепи: её выходное сопротивление фактически равно сопротивлению резистора (пренебрегаем сопротивлением конденсатора на высоких частотах), которое может достигать больших значений, если, к примеру, мы будем пытаться увеличить постоянную времени за счёт увеличения номинала резистора. Получается, что к выходу такой схемы можно подключать только высокоимпедансную нагрузку [3,4,5].

Разумеется, используя схемотехнические приёмы и дополнительные компоненты можно несколько улучшить параметры схемы. На основе операционных усилителей (ОУ) возможно создать более эффективные фильтры (в том числе и высокого порядка). Такие решения лежат в основе промышленных преобразователей, которые нашли применение в качестве дополнения к программируемым логическим контроллерам. Однако, точность преобразования оставляет желать лучшего, область, где применяются такие модули, не предъявляет высоких требований к этому параметру [6,7].

Не случайно фирма LinearTechnology выпускает целую серию микросхем, осуществляющих преобразование ШИМ сигнала в постоянное напряжение [8]. Эти микросхемы отличаются выдающимися характеристиками (в сравнении с вышеприведённым методом). Во-первых, точность преобразования составляет 8, 10 или 12 бит (в зависимости от модели), частота входного сигнала может колебаться от 30 до 6,5 кГц. Во-вторых, микросхема имеет четыре независимых канала преобразования и внутренний источник опорного напряжения. В-третьих, время преобразования сокращено до минимума и фактически равно длительности одного импульса входного сигнала. Несмотря на все преимущества этой микросхемы, ограниченное количество настраиваемых параметров не позволяет применять её в ряде случаев, например, когда скважность ШИМ изменяется в малых пределах, как в описанной выше системе радиоуправления моделями. В

результате, вместо обозначенных 8 или 12 бит, может быть использовано только половина разрядов и меньше.

Ещё один способ преобразовать ШИМ в постоянное напряжение – использовать микроконтроллер. В составе большинства современных микросхем этого вида присутствует всё необходимое (таймеры, счётчики, внешние прерывания, ЦАП) для разработки преобразователей с широким спектром настраиваемых параметров. Однако, быстродействие контроллеров накладывает ограничения на точность, количество каналов, разрядность преобразователя. Поэтому данный метод не получил широкого распространения.

Для решения задачи преобразования низкочастотного ШИМ сигнала в постоянное однополярное напряжение было разработано, собрано и протестировано устройство на логических элементах. Точность преобразования составляет 8 бит, время преобразования (периодичность обновления данных на выходе) равна периоду входного сигнала и может быть сколь угодно большим.

Структурная схема устройства приведена на рисунке 2.

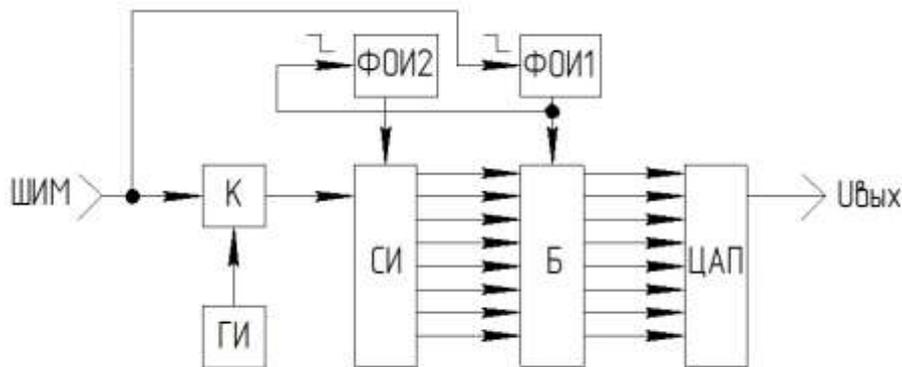


Рис. 2. Структурная схема преобразователя
Fig. 2. Diagram of the structure of the converter

Прямоугольный сигнал с генератора тактовых импульсов (ГИ) поступает на один из входов ключа (К), где он модулируется импульсами ШИМ. Таким образом, на выходе ключа количество импульсов пропорционально длительности импульса ШИМ. Модулированный сигнал поступает на счётчик импульсов (СИ), на выходе которого получается двоичный код, соответствующий количеству отсчётов, пришедших на вход. Необходимо отметить, что обновление значений на выходе счётчика происходит с приходом каждого нового импульса (сколь угодно малой частоты). Если подать такой сигнал на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), то на выходе устройства получится подобие пилообразного сигнала. Необходимо, чтобы обновление данных на входе ЦАП производилось только после того, как все импульсы с выхода ключа (за один период входного сигнала) поступили на счётчик. Для этого в схему вводится буфер (Б) и система формирователей одиночных импульсов (ФОИ). Буфер имеет N входных и выходных каналов, логические сигналы передаются на выходы по приходу положительного импульса на управляющий вход. При этом, если на управляющем входе присутствует низкий уровень, буфер «запоминает» состояния выходов и не изменяет их. ФОИ1 запускается по нисходящему фронту импульса входного сигнала и формирует на своём выходе одиночный импульс положительной полярности, длительность которого много меньше периода следования сигналов ШИМ, этот сигнал «защёлкивает» выход счётчика на вход ЦАП, который формирует на выходе устройства постоянное напряжение, величина которого пропорциональна длительности импульса входного сигнала. К этому моменту счётчик уже завершил подсчёт импульсов и его выходы находятся в стабильном состоянии. Нисходящий фронт выходного импульса ФОИ1 также служит для запуска ФОИ2, который подключен к входу сброса счётчика, это позволяет вернуть систему в исходное состояние. При этом буфер фиксирует своё состояние и напряжение на выходе устройства не изменяется.

На основе приведённой структурной схемы был произведён подбор компонентов и разработана принципиальная электрическая схема восьмибитного преобразователя (рис. 3).

В качестве генератора тактовых импульсов выступает кварцевый генератор, формирующий высокостабильный меандр [9]. Такие микросхемы выпускаются только с частотами определённого номинала (от 1 МГц и выше), но для работы устройства не всегда необходима такая высокая частота, поэтому в качестве делителя частоты применён сдвоенный двоичный 4-х разрядный счётчик (микросхема 74НСТ393М), на выходах которого можно получить 500кГц, 250кГц, 175кГц, 87кГц.

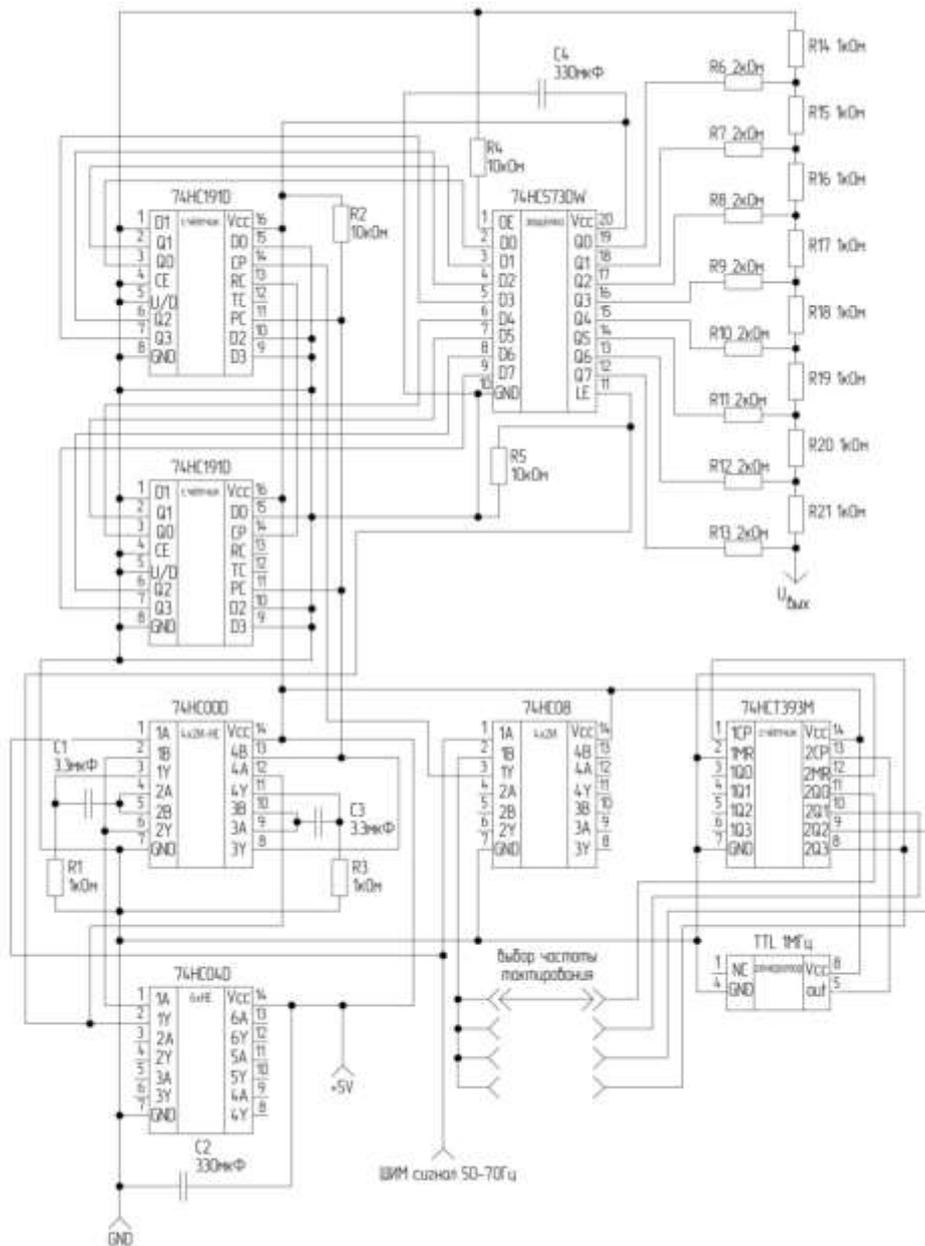


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема преобразователя

Fig. 3. The basic electrical circuit of the converter

Применив каскадное включение двух счётчиков, входящих в состав микросхемы можно получить 44кГц, 22кГц, 11кГц. Это необходимо в случае, если период входного сигнала становится слишком большим или, при увеличении скважности импульсов или при необходимости понизить разрядность преобразователя. Для установки необходимой частоты вход ключа просто подключается к соответствующему выходу микросхемы.

Роль ключа выполняет логическое «И», один из четырёх функциональных блоков микросхемы 74НС08 [10]. На выходе 3 микросхемы появляются импульсы тактового генератора только если на входе1 присутствует сигнал высокого уровня, формируемый импульсом положительной полярности на входе схемы.

С выхода ключа импульсы поступают на 8-разрядный счётчик, выполненный на двух микросхемах 74НС191D, соединённых каскадно [11]. Эта микросхема является 4-х разрядным двоичным реверсивным счётчиком с возможностью установки начального значения. Вход PC (11) является линией сброса. RC(13) – выход переполнения, в случае, если на вход микросхемы пришло более 16 отсчётов, на нём формируется импульс положительной полярности. Вывод СЗ (14) служит входом для подсчитываемой последовательности импульсов.

Роль буфера между счётчиком и цифро-аналоговым преобразователем выполняет микросхема 74НС573DW – регистр-зашёлка с 8 разрядной линией данных, имеющий два управляющих входа [12]. При подаче импульса положительной полярности на вход LE (11) данные с входов «зашёлкиваются» на выходах (по восходящему фронту). DE(1) – линия сброса регистра.

Цифро-аналоговый преобразователь с параллельным входом является довольно распространённой схемой включения резисторов (R6-R21) [13,14]. Каждый вход имеет определённый «вес» в вольтах выходного напряжения. Схема обеспечивает высокую точность преобразования при использовании резисторов с допуском в 1%.

Формирователи одиночных импульсов представляют собой одновибраторы, выполненные на микросхеме 74НС00D, являющейся сборкой из 4-х элементов «2И-НЕ», и микросхеме 74НС04D, которая представляет собой сборку из 6-и инвертирующих вентилей [15,16]. Запуск первого одновибратора осуществляется по нисходящему фронту импульса входного сигнала, формируемый им восходящий фронт «зашёлкивает» буфер. А нисходящий фронт его импульса запускает второй одновибратор, производящий сброс обоих счётчиков.

Логика работы функциональных блоков схемы была протестирована в программе Multisim. Особый интерес представляет моделирование работы одновибраторов (рис. 4).

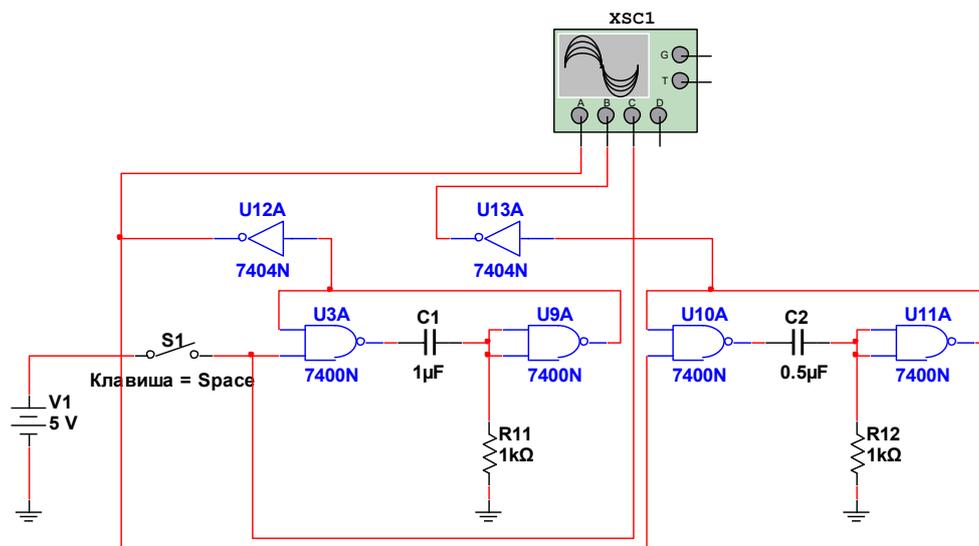


Рис. 4. Модель формирователей одиночных импульсов (одновибраторов) в среде Multisim
Fig. 4. Single pulse (single-switch) model in a Multisim environment

Схема, приведённая на рисунке 4, была собрана и протестирована на реальных компонентах. Большинство приведённых микросхем были заменены на отечественные аналоги. Кроме того, были добавлены светодиодные шкалы для индикации работы счётчиков и буфера. Для проведения отладки был предусмотрен режим «ручного» ввода данных. В качестве источника ШИМ сигнала служил выход приёмника аппаратуры радиоуправления моделями. Он

предназначен для управления сервоприводами и регуляторами хода электрических двигателей. Сигнал на выходе имеет следующие характеристики:

- частота – 70Гц;
- амплитуда напряжения – 5В;
- скважность импульсов – 5-10%.

Далее рассмотрим осциллограммы, иллюстрирующие логику работы устройства. На рис. 5 приведен график, показывающий последовательность импульсов, формируемых на выходе ключа и форму огибающей – импульса ШИМ сигнала на одном из его входов. Частота работы тактового генератора в данном эксперименте составляет порядка 10кГц.

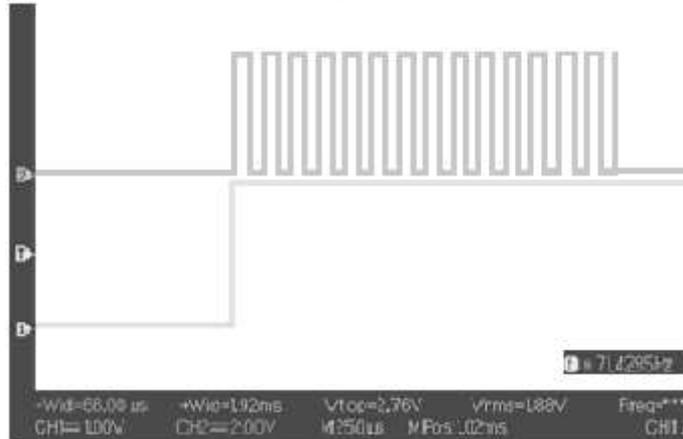


Рис. 5. Модулированный сигнал на выходе ключа и огибающая (форма входного импульса ШИМ)
Fig. 5. Modular signal at key output and bounding (form of the input pulse of the PWM)

Анализ данного рисунка позволяет также визуализировать один из основных источников погрешности преобразователя. Дело в том, что в один период сигнала ШИМ может укладываться не целое число отсчётов тактового генератора. В результате, возможно возникновение случайной ошибки в количестве импульсов, попадающих на вход счётчика. Естественно, при разрядности в 8 бит (256 отсчётов на период), такое небольшое отклонение будет вызывать совсем незначительные колебания напряжения на выходе преобразователя (порядка 20мВ при номинальном размахе напряжения от 0В до 5В).

На рис. 6 приведена осциллограмма работы одновибраторов, формирующих импульсы для «защёлкивания» буфера и сброса счётчиков.

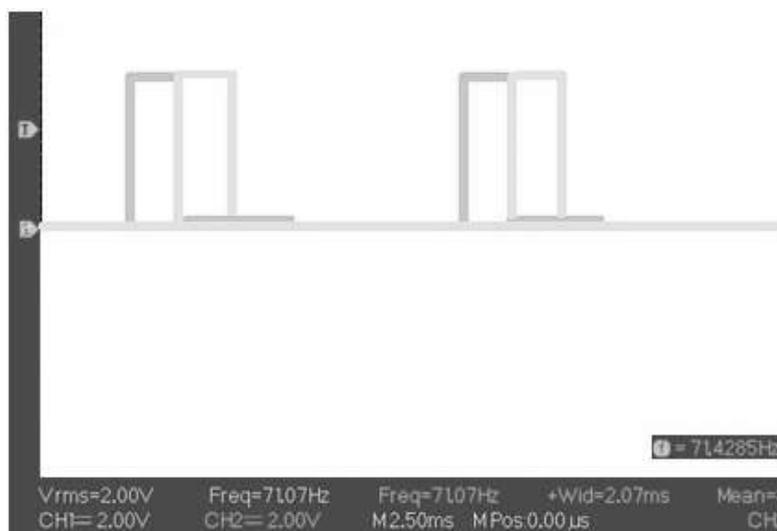


Рис. 6. Форма сигналов на выходах одновибраторов
Fig. 6. Signal form at the outputs of the single switch

При этом иллюстрируется логика работы системы сброса. Импульс для сброса счётчиков формируется по нисходящему фронту импульса «защёлкивающего» данные буфера. Длительность этих импульсов определяется параметрами RC цепочки в составе одновибраторов, при необходимости она может быть уменьшена.

На рисунке 7 приведена сравнительная осциллограмма, показывающая зависимость напряжения на выходе преобразователя от длительности ШИМ, при этом рассматриваются минимальная и максимальная длительность импульса.

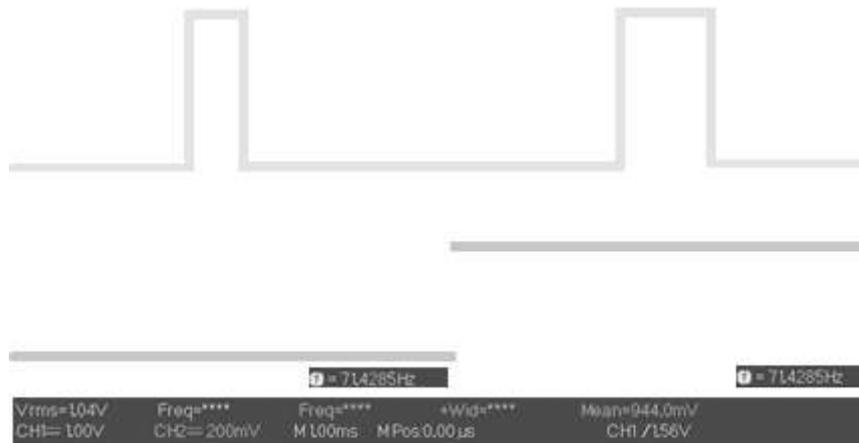


Рис. 7. Зависимость напряжения на выходе преобразователя от скважности ШИМ
Fig. 7. Voltage dependence on the output of the converter from the PWM

Из рисунка 7 видно, что при частоте входного сигнала 71Гц (коэффициент заполнения изменяется от 7,14% до 14,3%), выходное напряжение изменяется с размахом в 400мВ, что является хорошим результатом. При этом, как уже говорилось ранее, имеется возможность подстроить режим работы тактового генератора под длительность входных импульсов, обеспечив наибольшую чувствительность схемы.

Далее приведён расчёт погрешности преобразователя. Для начала определим погрешность передаточной функции, считая параметры ЦАП идеальными. В качестве примера рассмотрим преобразование ШИМ сигнала с частотой 50Гц ($T=20\text{мС}$) с коэффициентом заполнения от 0% до 100% (0-20мС). Оптимальная частота тактового генератора подбирается таким образом, чтобы в максимальную длительность импульса входного сигнала укладывалось 256 тактовых отсчётов:

$$F_{\Gamma} = 256 * F_{\text{ШИМ}}$$

В данном случае получается 12800 Гц, выбирается ближайшее значение частоты, на которую может быть настроен генератор – 11000Гц ($\tau_{\Gamma} = 9,1 * 10^{-5}\text{с}$). Выражение, показывающее зависимость выходного напряжения от количества импульсов на входе (N) (длительности импульса входного сигнала τ , секунд):

$$U_{\text{ВЫХ}} = 20\text{мВ} * N$$

Для $\tau = 0$: $U_{\text{ВЫХ}} = 0\text{В}$. Для $\tau = 0,02$: $U_{\text{ВЫХ}} = 4,4\text{В}$.

Абсолютная погрешность выходного напряжения составит:

$$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = 20\text{мВ} * \tau_{\Gamma} * F_{\Gamma} = 0,02\text{В}$$

Тогда относительная погрешность:

$$\delta U_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U(\tau \rightarrow \tau_r)} * 100\% \approx 2\%$$

где $U(\tau \rightarrow \tau_r)$ – выходное напряжение, рассчитанное по функции преобразования для длительности импульса входного сигнала меньшей, чем длительность импульса тактового генератора.

Относительная погрешность преобразователя (погрешность квантования) составляет порядка 2%.

Рассмотрим погрешность, искажающую линейность функции преобразования, вызванную разбросом номиналов в матрице ЦАП. Можно принять, что все резисторы, составляющие матрицу имеют абсолютно точные значения. Тогда характеристика ЦАП будет линейна. Однако, резисторы имеют разброс номинала, обусловленный особенностями производственного процесса, в результате, даже номиналы элементов из одной партии могут отличаться. В конструкции устройства использовались резисторы с допусками 5%. Эксперименты показывают, что разброс номиналов приводит к изменению веса каждого входа (бита) ЦАП.

Таблица

Влияние разброса номиналов резисторов на нелинейность ЦАП

Table

Effect of dispersion of resistor nomenclature on non-linearity of DAC

Число импульсов, ед.	1	2	4	8	16	32	64	128
U _{вых} (теория), В	0,02	0,04	0,078	0,156	0,312	0,625	1,25	2,5
U _{вых} (эксперимент), В	0,018	0,0378	0,0763	0,1538	0,3094	0,6198	1,247	2,519

На рисунке 8 наглядно показана относительная погрешность, вносимая каждым разрядом. Можно отметить, что она носит мультипликативный характер. Корректировка может осуществляться подбором номиналов резисторов.

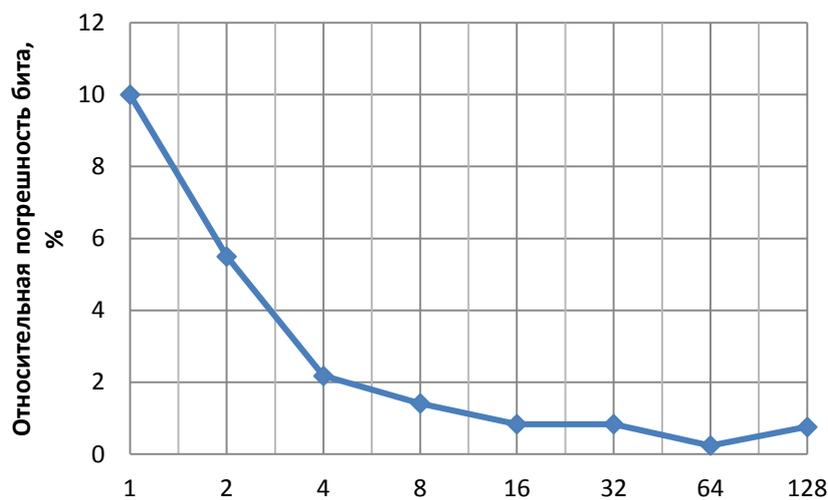


Рис. 8. Зависимость относительной погрешности резистивной матрицы
Fig. 8. Dependency of the relative error of the resistant matrix

В заключение необходимо отметить, что схема преобразователя имеет потенциал к дальнейшей модернизации. Так разрядность можно увеличить до 12 бит, расширив резистивную матрицу и повысив разрядность счётчиков. Точность подстройки частоты тактового генератора можно увеличить, применив специализированные микросхемы генераторов импульсов с плавной подстройкой частоты. Для питания ЦАП и буфера рекомендуется применять стабилизированный

источник питания, что повысит стабильность выходного напряжения. На выходе ЦАП необходимо добавить операционный усилитель, включённый по схеме повторителя, для того чтобы уменьшить выходной импеданс преобразователя, что даст возможность подключать к выходу даже низкоомную нагрузку. Наконец, приведённую структуру можно (в значительном объёме) реализовать на ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема), что уменьшит габариты устройства и позволит увеличить количество каналов преобразователя [17]. Кроме того, это даст возможность отбрасывать младшие (незначачие) разряды счётчика, что увеличит размах выходного напряжения при преобразовании сигнала.

Список литературы

1. Слепов Н.Н., Дроздов Б.В. Широтно-импульсная модуляция. Анализ и применение в магнитной записи. М.: Энергия, 1978. 192 с.
2. Днищенко В.А. Дистанционное управление моделями. СПб.: Наука, 2007. 455 с.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники, Пер. с англ. М.: БИНОМ, 2016. 704 с.
4. M. Thoren., C. Steward. Accurate, fast setting analog voltages from digital PWM signals // Design notes 538 (from Linear technology).
5. David M. Alter. Using PWM Output as a Digital-to-analog converter on a TMS320F280 digital signal controller // Application report. September 2008.
6. Ревич Ю. Занимательная электроника. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 664 с.
7. Конвертер ШИМ-напряжение PLP-P1 [Руководство по эксплуатации]. https://purelogic.ru/data/docs/elektronika_chpu/modul_shim_plp_p1_user_manual_ru.pdf (дата обращения 28.08.2018).
8. Техническая документация LTC2645 [LinearTechnology]. <http://www.farnell.com/datasheets/1841852.pdf> (дата обращения 25.08.2018).
9. Кварцевый резонатор и кварцевый генератор [Практическая электроника]. <https://www.ruselectronic.com/kvartsevuj-rezonator-i-kvartsevuj-generator/> (дата обращения 20.08.2018).
10. Техническая документация 74HC08 [TexasInstruments]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc08.pdf> (дата обращения 26.08.2018).
11. Техническая документация 74HC191D [TexasInstruments]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc191.pdf> (дата обращения 26.08.2018).
12. Техническая документация 74HC573D [PhilipsSemiconductors]. <https://static.chipdip.ru/lib/225/DOC000225305.pdf> (дата обращения 27.08.2018).
13. Basic DAC Architectures 2: Binary DACs [Analog Devices] <http://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-015.pdf> (дата обращения 27.08.2018).
14. R2R ЦАП. Практическое применение [AVRdevices]. <http://avrdevices.ru/r-2r-cap-praktiticheskoe-primenenie> (дата обращения 25.08.2018).
15. Техническая документация 74HC00D [TexasInstruments]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd54hc00.pdf> (дата обращения 26.08.2018).
16. Техническая документация 74HC04D [PhilipsSemiconductors]. <https://static.chipdip.ru/lib/058/DOC000058311.pdf> (дата обращения 28.08.2018).
17. Бахмутский А.А., Волков С.В., Колдов А.С. Реализация цифровых устройств на ПЛИС // Общие и комплексные проблемы естественных и точных наук: Тр. международного симпозиума. Пенза: 2007.

References

1. Slepov N.N., Drozdov B.V. Pulse width modulation. Analysis and application in magnetic recording. M.: Energy, 1978. 192 p.
2. Dnischenko V.A. Remote control of models. SPb.: Science, 2007. 455 p.
3. Horowitz P., Hill U. The Art of Circuit Engineering, Trans. with English. M.: BINOM, 2016. 704 p.
4. M. Thoren., C. Steward. PWM signals // Design notes 538 (from Linear technology).
5. David M. Alter. TMS320F280 digital signal controller // Application report. September 2008.
6. Revich Y. Entertaining electronics. Spb.: BHV-Petersburg, 2007. 664 p.
7. PWM-voltage converter PLP-P1 [Operation manual]. https://purelogic.ru/data/docs/elektronika_chpu/modul_shim_plp_p1_user_manual_ru.pdf (data accessed 28.08.2018).

8. Technical documentation LTC2645 [Linear Technology]. <http://www.farnell.com/datasheets/1841852.pdf> (data accessed 25.08.2018).
9. Quartz resonator and quartz oscillator [Practical electronics]. <https://www.ruselectronic.com/kvartsevyj-rezonator-i-kvartsevyj-generator/> (data accessed 20.08.2018).
10. Technical documentation 74HC08 [Texas Instruments]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd74hc08.pdf> (data accessed 26.08.2018).
11. Technical Documentation 74HC191D [Texas Instruments]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc191.pdf> (data accessed 26.08.2018).
12. Technical documentation 74HC573D [Philips Semiconductors]. <https://static.chipdip.ru/lib/225/DOC000225305.pdf> (data accessed 27.08.2018).
13. Basic DAC Architectures 2: Binary DACs [Analog Devices] <http://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-015.pdf> (data accessed 27.08.2018).
14. R2R DAC. Practical application [AVR devices]. <http://avrdevices.ru/r-2r-cap-praktiticheskoe-primeneniye> (data accessed 25.08.2018).
15. Technical Documentation 74HC00D [Texas Instruments]. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd54hc00.pdf> (data accessed 26.08.2018).
16. Technical documentation 74HC04D [Philips Semiconductors]. <https://static.chipdip.ru/lib/058/DOC000058311.pdf> (data accessed 28.08.2018).
17. Bakhmutsky A.A., Volkov S.V., Koldov A.S. Implementation of digital devices on FPGA // General and complex problems of natural and exact sciences: Tr. international symposium. Penza: 2007.

Бражников Артём Максимович, студент магистратуры Самарского государственного технического университета
Бражникова Александра Максимовна, студент магистратуры Самарского государственного технического университета
Забержинский Борислав Эдуардович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий

Brazhnikov Artem Maximovich, Graduate student of Samara State Technical University
Brazhnikova Aleksandra Maximovna, Graduate student of Samara State Technical University
Zaberzhinsky Borislav Eduardovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology