

№ 2 (94) март-апрель 2016

Издается с 2002 года. Выходит 6 раз в год

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет —  
учебно-научно-производственный комплекс» (Госуниверситет – УНПК)

### *Редакционный совет*

Голенков В.А., председатель  
Радченко С.Ю., заместитель председателя  
Борзенков М.И., секретарь

Астафичев П.А., Иванова Т.Н., Киричек А.В.,  
Колчунов В.И., Константинов И.С.,  
Новиков А.Н., Попова Л.В., Степанов Ю.С.

### *Главный редактор*

Константинов И.С.

### *Редколлегия*

Архипов О.П. (Орел, Россия)  
Аверченков В.И. (Брянск, Россия)  
Еременко В.Т. (Орел, Россия)  
Иванников А.Д. (Москва, Россия)  
Коськин А.В. (Орел, Россия)  
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)  
Поляков А.А. (Москва, Россия)  
Савина О.А. (Орел, Россия)  
Раков В.И. (Орел, Россия)

*Сдано в набор 15.02.2016 г.*

*Подписано в печать 26.02.2016 г.*

*Формат 60x88 1/8.*

*Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.*

*Заказ № 06/16П1*

*Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65*

*Подписной индекс 15998*

*по объединенному каталогу*

**«Пресса России»**

**Материалы статей печатаются в авторской редакции.**

**Право использования произведений предоставлено  
авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части  
ГК РФ.**

Журнал входит в **Перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов и изданий**, определенных ВАК для  
публикации трудов на соискание ученых степеней  
кандидатов и докторов наук.

### **Рубрики номера**

1. Математическое и компьютерное  
моделирование.....5-50
2. Информационные технологии  
в социально-экономических  
и организационно-технических  
системах .....51-91
3. Автоматизация и управление  
технологическими процессами и  
производствами.....92-98
4. Математическое и программное обеспечение  
вычислительной техники и  
автоматизированных систем.....99-127
5. Информационная безопасность и защита  
информации.....128-153

### *Редакция*

*О.И. Константинова  
А.А. Митин*

### *Адрес учредителя журнала*

*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: unpk@ostu.ru*

### *Адрес редакции*

*302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40  
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: konstaoksana@yandex.ru; isit@ostu.ru*

*Зарег. в Федеральной службе по надзору в сфере  
связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций.*

*Св-во о регистрации средства массовой  
информации ПИ № ФС77-47350 от 03.11.2011 г.*

©Госуниверситет – УНПК, 2016

№ 2 (94) March-April 2016

The journal is published since 2002, leaves six times a year  
The founder – State University – Education-Science-Production Complex

*Editorial council*

Golenkov V.A., president  
Radchenko S.Y., vice-president  
Borzenkov M.I., secretary

Astafichev P.A., Ivanova T.N., Kirichek A.V.,  
Kolchunov V.I., Konstantinov I.S.,  
Novikov A.N., Popova L.V., Stepanov Y.S.

*Editor-in-chief*

Konstantinov I.S.

*Editorial board*

Arhipov O.P. (Orel, Russia)  
Averchenkov V.I. (Bryansk, Russia)  
Eremenko V.T. (Orel, Russia)  
Ivannikov A.D. (Moscow, Russia)  
Koskin A.V. (Orel, Russia)  
Podmasteriev K.V. (Orel, Russia)  
Polyakov A.A. (Moscow, Russia)  
Savina O.A. (Orel, Russia)  
Rakov V.I. (Orel, Russia)

*It is sent to the printer's on 15.02.2016,  
26.02.2016 is put to bed  
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies  
The order № 06/16П1*

*It is printed from a ready dummy layout  
on polygraphic base of State University – ESPC  
302030, Orel, Moskovskaya street, 65*

*Index on the catalogue  
«Pressa Rossii» 15998*

Journal is included into the list of the Higher Attestation Commission for publishing the results of theses for competition the academic degrees.

In this number

1. Mathematical and computer simulation....5-50
2. Information technologies in social and economic and organizational-technical systems.....51-91
3. Automation and control of technological processes and manufactures.....92-98
4. Software of the computer facilities and the automated systems.....99-127
5. Information and data security.....128-153

The editors

Konstantinova O.I.  
Mitin A.A.

The address of the founder of journal

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 29  
(4862) 42-00-24; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: unpk@ostu.ru

The address of the editorial office

302020, Orel, Highway Naugorskoe, 40  
(4862) 43-40-39; www.gu-unpk.ru;  
E-mail: konstaoksana@yandex.ru; isit@ostu.ru

*Journal is registered in Federal Service for  
Supervision in the Sphere of Telecom, Information  
Technologies and Mass Communications.  
The certificate of registration  
ПИ № ФС77-47350 from 03.11.2011.*

© State University – ESPC, 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

*В.И. АВЕРЧЕНКОВ, С.В. КОНДРАТЕНКО, В.В. СПАСЕННИКОВ*

Математическое моделирование процесса тестирования с использованием шкалы цветовых предпочтений...5-13

*А.А. АФАНАСЬЕВ*

Перспективы развития систем низкоскоростного кодирования речи при учете взаимозависимостей элементов декомпозиции речевого сигнала.....14-21

*В.Г. ЛИСИЧКИН*

Модель информационно-измерительной системы резонансного типа с разветвляющим частотным преобразованием.....22-29

*П.А. ЛОМОВ*

Использование отношений между онтологическими паттернами содержания при работе с онтологиями.....30-39

*А.И. ЯКИМОВ, О.М. ДЕМИДЕНКО, Н.Н. ИВКИНА*

Анализ методов построения имитационных моделей корпоративных информационных систем.....40-50

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*П.Ю. БОГАТЫРЁВ, А.В. КОСЬКИН*

Систематизация информации при реализации инновационных проектов IT-компаниями.....51-58

*А.С. БЫЧКОВА, А.Б. НЕЧАЕВА, О.Н. ЛУНЁВА, Р.А. ЛУНЁВ, А.А. СТЫЧУК, А.Е. ЯСТРЕБКОВ*

Анализ проблем и задач управления городским хозяйством и технологий «умного города».....59-65

*О.Д. ИВАЩУК, В.И. ФЁДОРОВ*

Система интеллектуального мониторинга водных объектов сельско-городских территорий.....66-70

*А.А. ЛУПАНДИН, В.Н. ВОЛКОВ*

Концепция кросс-облачного хранилища информации.....71-76

*Ю.Б. САВВА*

Разработка алгоритмов обработки информации для построения и визуализации графов контактов участников виртуальной социальной сети «ВКонтакте».....77-85

*В.А. ФРОЛОВА, А.И. ФРОЛОВ*

Модель основной образовательной программы для региональной социально-экономической системы «образовательная организация высшего образования – работодатель».....86-91

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

*В.А. ЛОБАНОВА, Н.И. ФОМИН*

Анализ развития математического аппарата процесса первичной переработки нефти.....92-98

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

*Д.В. АНИСИМОВ, П.В. МЕЛЬНИКОВ*

Проведение сертификационных исследований программного обеспечения с использованием технологии LLVM.....99-104

*Е.В. ЛЕБЕДЕНКО, М.А. КУЦАКИН*

Представление взаимодействия компонентов в распределенной информационной системе с точки зрения теории конечных автоматов.....105-110

*И.Ю. ЛЫСАНОВ*

Математическая модель процесса контроля и управления доступом с использованием технологии формирования и обработки мультимедийного потока видеоданных.....111-120

*Н.А. МЕЛКОЗЕРОВ, С.Л. ГОЛЬДШТЕЙН, О.А. ЕВСЕГНЕЕВ*

Обзор программных средств для локализации и построения карты беспилотными аппаратами.....121-127

### ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

*В.А. ЛИПАТНИКОВ, А.А. ШЕВЧЕНКО*

Способ контроля уязвимостей при масштабировании автоматизированной системы менеджмента предприятия интегрированной структуры.....128-140

*Е.А. МАКСИМОВА, Е.А. ВИТЕНБУРГ*

Архитектура программного комплекса предотвращения инсайдерской активности и оценки эффективности работы персонала организации.....141-147

*А.Н. ЦИБУЛЯ, ХО МИНЬ НГИА*

Алгоритм анализа журнала регистрации системных процессов системы электронного документооборота с использованием метода кластеризации социальных сетей.....148-153

## CONTENT

### MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

*AVERChENKOV V.I., KONDRATENKO S.V., SPASENNIKOV V.V.*

The application of the scale of individual color preferences of respondents in testing methods.....5-13

*AFANAS'EV A.A.*

Prospects of low bit rate speech coding systems development at the account of the speech signal decomposition elements interdependence.....14-21

*LISICHKIN V.G.*

Model of the resonant information-measuring system with developing frequency transformation.....22-29

*LOMOV P.A.*

Using onotogy content pattern relation during work with ontologies.....30-39

*YaKIMOV A.I., DEMIDENKO O.M., IVKINA N.N.*

Analysis of methods for constructing simulation models of corporate information systems.....40-50

### INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

*BOGATY'RYoV P.Yu., KOS'KIN A.V.*

Systematization of information in the implementation of innovative projects it-companies.....51-58

*BY'ChKOVA A.S., NEChAEVA A.B., LUNYoVA O.N., LUNYoV R.A., STY'ChUK A.A., YaSTREBKOV A.E.*

Analysis of problems and tasks of urban management and technologies of the smart city.....59-65

*IVAShUK O.D., FYoDOROV V.I.*

System of intelligent monitoring of water bodies of rural-urban territories.....66-70

*LUPANDIN A.A., VOLKOV V.N.*

The concept of cross cloud data storage.....71-76

*SAVVA Yu.B.*

Development of algorithms of information processing for the construction and visualization of graphs communication between participants of the virtual social network «VKontakte».....77-85

*FROLOVA V.A., FROLOV A.I.*

Basic educational program model of regional socio-economic system «educational organization of higher education – employer».....86-91

### AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MANUFACTURES

*LOBANOVA V.A., FOMIN N.I.*

The analysis of the development of the mathematical apparatus of the process of primary oil refining.....92-98

### SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

*ANISIMOV D.V., MEL'NIKOV P.V.*

Conduct certification researches of software using the technology of LLVM.....99-104

*LEBEDENKO E.V., KUCAKIN M.A.*

Representation of the components interaction in a distributed information system from the point of finite automats theory.....105-110

*LY'SANOV I.Yu.*

Mathematical model of access control and management using the technology generation and processing multimedia video streams.....111-120

*MELKOZEROV N.A., GOL'DShTEJN S.L., EVSEGNEEV O.A.*

Survey of simultaneous localization and mapping software for unmanned vehicles.....121-127

### INFORMATION AND DATA SECURITY

*LIPATNIKOV V.A., ShEVChENKO A.A.*

The vulnerability control method applying while automated integrated structure organization management system scaling.....128-140

*MAKSIMOVA E.A., VITENBURG E.A.*

Architecture of software for prevention of insider activity and evaluation of the effectiveness of the personnel....141-147

*CIBULYa A.N., Xo MIN' NGIA*

The algorithm of the analysis of system processes log in the electronic document management system using a cluster analysis method of social networks.....148-153

УДК 004.9

В.И. АВЕРЧЕНКОВ, С.В. КОНДРАТЕНКО,  
В.В. СПАСЕННИКОВ

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕСТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШКАЛЫ ЦВЕТОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

*В статье рассмотрена методика построения индивидуальной шкалы цветовых предпочтений респондента на основе метода парных выборов. Разработан и представлен алгоритм применения этой методики в рамках программного комплекса для определения отношения респондентов к исследуемым вопросам на основе их цветовых предпочтений.*

**Ключевые слова:** *цветовые предпочтения; метод парных выборов; индивидуальная шкала цветовых предпочтений; методики тестирования.*

Эмоциональные процессы и определение отношения личности к какому-либо предмету являются одними из наиболее сложных проблем для психологических исследований. Прежде всего, это обусловлено трудоемкостью методик диагностики эмоциональной сферы, они отличаются, как правило, большим количеством вопросов в анкетах, либо требуют много времени для проведения опроса и его интерпретации, либо вообще отличаются высокой степенью субъективности, т.к. в основном они основаны на проективных рисуночных методах [3].

Именно поэтому в последнее время все актуальнее встает вопрос о поиске и разработке новых подходов для выявления отношений респондента к определенному предмету. В основу предлагаемого метода положено применение цветовых оценок с целью эмоциональной диагностики. Цветовой спектр позволяет представить эмоции человека через большое количество промежуточных оттенков и состояний.

В работах российских исследователей под руководством Измайлова Ч.А. [1] утверждается, что цветовую палитру можно представить в виде непрерывного континуума, на котором можно расположить большинство человеческих эмоций. Большая часть наших эмоций коррелируется с цветовой палитрой от синего до сине-красного, малинового или фиолетового цветов. Оставшаяся часть эмоций соотносится со спектром зеленого и зелено-синих цветов и совсем мало эмоций со спектром салатových тонов.

Г. Флиринг и К. Ауэр [5] в ходе своей работы пришли к выводу, что у всех людей есть свое индивидуальное отношение к цвету. Человек испытывает симпатию к одним цветам и антипатию к другим, таким образом, можно сказать, что у каждого человека есть свой рейтинг любимых и нелюбимых цветов. Однако, стоит иметь в виду, что предрасположенность человека к тому или иному цвету изменяется вследствие временных или культурных факторов.

Построение индивидуальной шкалы цветопредпочтений является важным этапом при создании системы тестирования на основе цветовых предпочтений респондентов. Ниже в статье предлагается алгоритм реализации подобного процесса, в основу которого положен метод парных выборов.

Существует множество способов построения индивидуальной шкалы цветопредпочтений. Самые распространенные в настоящее время – это методы шкалирования субъективных характеристик стимулов, не имеющих прямых физических коррелятов, которые основаны на модели шкалирования Терстоуна [6]. Суть ее заключается в следующем:

1. Данное множество объектов можно упорядочить в континуум по какому-либо из параметров, который может служить стимулом, причем этот параметр не обязательно имеет физическую меру. Обозначим ряд стимулов как  $\{I, \dots, i, \dots, n\}$ .

2. Каждый стимул теоретически вызывает у субъекта только один процесс различения (обозначим его буквой  $S$ ). Процессы различения составляют психологический континуум или континуум различения ( $D_1 \dots D_i \dots D_n$ ). Однако вследствие мгновенных флуктуаций организма данный стимул может вызвать не только свой процесс различения, но и какие-то соседние. Поэтому, если один и тот же стимул предъявлять много раз, то на психологическом континууме ему будет соответствовать некоторое распределение процессов различения. При этом предполагается, что форма распределения нормальна.

3. В качестве значения  $i$ -го стимула на психологической шкале принимается среднее ( $S_i$ ) распределение процессов различения, а дисперсия распределения рассматривается как дисперсия различения ( $s_i$ ).

4. Предъявление одновременно пары стимулов вызывает два процесса различения  $d_i$  и  $d_j$ . Разность ( $d_j - d_i$ ) называется различительной разностью. При большом числе предъявлений двух стимулов различительные разности также формируют свое нормальное распределение на психологическом континууме. Поэтому среднее распределение разностей различения ( $d_j - d_i$ ) будет равно разности средних распределений самих процессов различения ( $S_j - S_i$ ), в этом случае дисперсия распределения различительных разностей будет равна

$$s(d_j - d_i) = (s_j^2 + s_i^2 - 2r_{i,j}s_i s_j)^{1/2}, \quad (1)$$

где  $s_i$  и  $s_j$  – дисперсии процессов различения  $i$ -го и  $j$ -го стимулов соответственно;  $r_{i,j}$  – наличие корреляции между мгновенными значениями процессов различения стимулов  $i$  и  $j$ .

Рассмотрим теперь следующую ситуацию. Пусть наблюдателю предъявляются пары цветов  $i$  и  $j$  и от него требуется выбрать из предлагаемой пары наиболее предпочтительный цветовой стимул.

Предполагается, что если различительный процесс для стимула  $j$  окажется на психологическом континууме выше, чем для стимула  $i$ , т.е. если различительная разность ( $d_j - d_i$ )  $> 0$ , то последует суждение, что цвет  $j$  нравится больше, чем цвет  $i$ . И, соответственно, при ( $d_j - d_i$ )  $< 0$  произойдет обратное суждение.

Рассмотрим теперь, как соотносятся исходные данные с теоретической формой их выражения. Число независимых элементов в матрице выборов  $F$  равно  $n(n-1)/2$ , где  $n$  – число стимулов. Тогда как закон сравнительных оценок имеет для тех же  $n$  стимулов и  $n$  неизвестных шкальных значений,  $n$  неизвестных дисперсий различительных процессов и  $n(n-1)/2$  неизвестных корреляций. Совершенно очевидно, что при таком соотношении числа уравнений  $n(n-1)/2$  и числа неизвестных  $2n+n(n-1)/2$  решить данную систему невозможно. Поэтому необходимо ввести условия, упрощающие структуру выражения

Л. Терстоун рассматривал 5 вариантов применения этого закона [6].

Пятый вариант закона сравнительных оценок Терстоуна нашел наибольшее применение вследствие простоты своей формы. Этот вариант основывается на допущении нулевой корреляции между двумя процессами различения ( $r=0$ ) и равенства различительных дисперсий этих процессов ( $s_j = s_i = s$ ). Тогда выражение (1) преобразуется в:

$$S_j - S_i = z_{j,i}s, \quad (2)$$

где  $z_{j,i}$  – искомое различие между предлагаемыми стимулами на психологическом континууме.

В пятом варианте закона, записанном в общем виде (2), единицы измерения шкальных значений всегда можно подобрать так, чтобы константа «с» была равна 1. Тогда:

$$S_j - S_i = z_{j,i}. \quad (3)$$

В случае отсутствия ошибок в оценках искомое различие будет равно наблюдаемому (обозначим его  $z'_{j,i}$ ). Но в результате ошибок между  $z'_{j,i}$  и  $z_{j,i}$  будет некоторое расхождение  $a$ . Задача заключается в получении такого множества оценок шкальных значений стимулов, для которых сумма квадратов всех расхождений является минимальной, т.е. необходимо минимизировать величину

$$\alpha_{i,j} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (z'_{i,j} - z_{i,j})^2. \quad (4)$$

Подставив вместо  $z_{i,j}$  шкальные значения, получим:

$$\alpha_{i,j} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (z'_{i,j} - S_i + S_j)^2. \quad (5)$$

Все  $\alpha_{i,j}$  для всех  $z_{i,j}$  из матрицы  $Z$  дадут матрицу ошибок  $A$ . Чтобы минимизировать каждую  $\alpha_{i,j}$ , необходимо взять частную производную  $\alpha_{i,j}$  по  $S_i$  и  $S_j$ . Каждое частное значение  $S_i$  в матрице ошибок  $a$  появляется только в  $i$ -той строке и  $i$ -том столбце, но поскольку матрица ошибок так же кососимметрична, как и матрица  $Z$ , то для каждой  $S_i$  частная производная будет касаться только  $i$ -го столбца. Дифференцируя элементы каждого столбца по  $S_i$ , получим:

$$\frac{d\alpha_{i,j}}{dS_{i,j}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (z'_{i,j} - S_i + S_j)^2, \quad (6)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Приравняем частную производную нулю и после переноса получим:

$$\sum_{j=1}^n z_{j,i} + \sum_{j=1}^n S_j = \sum_{j=1}^n S_i. \quad (7)$$

Разделим выражение (7) на  $n$  и возьмем начальное значение шкалы, равное  $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{j,i}$ . В результате получим количественное выражение отношения респондента к стимулу  $S_i$ :

$$S_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{j,i}, \quad (8)$$

где  $i=1, 2, \dots, n$ .

Таким образом, для минимизации ошибки необходимо просто взять среднее арифметическое по столбцу матрицы  $Z$  и мы получим оптимальное значение шкальной величины  $S_i$ .

Рассмотренная процедура дает возможность для каждого стимула  $S_i$  получить его значение на шкале интервалов.

Реальные экспериментальные данные очень часто отличаются от той классической матрицы данных, которая анализировалась выше. Наиболее распространенный артефакт в процедуре парного сравнения, который связан с ограничением на возможное число предъявлений, – стопроцентное предпочтение одного стимула другому, что приводит к появлению в матрице вероятностей нулей и единиц. Ноль и единица в терминах модели Терстоуна не несут сравнительную информацию о различии стимулов, поэтому не могут быть использованы для расчетов шкальных значений стимулов.

Для матриц с нулями и единицами (они называются неполными матрицами) существуют особые алгоритмы анализа. Наиболее распространенный из них подробно описан в работе В. Торгерсона [8] и вкратце состоит в следующем.

Из выражения (3) для стимула  $j$  следует, что стимул  $j+1$  будет описываться следующим выражением:

$$S_{j+e} - S_i = z_{j,i} + e. \quad (9)$$

Вычтя из уравнения (9) уравнение (3), мы получим  $d_{i,j+e}$  – сравнительное различие для интересующего нас стимула косвенным путем. В терминах минимизированной ошибки эта величина может быть вычислена из выражения:

$$d_{i,j+e} = S_{j+e} - S_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (z_{i,j+e} + z_{i,j}), \quad (10)$$

где  $n_j$  – индекс суммирования.

Для практического удобства матрицу  $Z$  следует перестроить таким образом, чтобы столбцы были упорядочены по величине. Порядок столбцов в матрице  $Z$  определяется суммой по столбцу матрицы  $P$ . Для такой упорядоченной матрицы  $Z$  различие  $S_{j+e} - S_j$  можно прямо вычислить из выражения (10). Если мы шкальное значение первого стимула ( $S_1$ ) приравняем к нулю, то шкальное значение любого стимула есть сумма шкального значения стимула и расстояния между данным стимулом и предшествующим:

$$S_1 = 0, \quad S_2 = d_{1,2}, \quad S_3 = S_2 + d_{2,3}, \quad S_n = S_{n-1} + d_{n-1,n}. \quad (11)$$

Рассмотрим практический пример решения пятого варианта закона сравнительных оценок методом наименьших квадратов. Испытуемому в случайном порядке предъявляются 8 цветных карт из малого набора теста Люшера [4] и просят в каждой паре выбрать наиболее предпочтительный. Каждая пара предъявляется по 6 раз, каждая карточка предъявляется 3 раза слева 3 раза справа. В итоге для одного из испытуемых была получена следующая матрица частот выбора цвета  $F_i$  (табл. 1):

Таблица 1 – Матрица частот,  $F_i$

Цвета $f_{ij}$	Серый	Синий	Зеленый	Красный	Желтый	Фиолетовый	Коричневый	Черный
Серый	-	2	1	3	4	3	6	2
Синий	4	-	4	4	3	1	2	2
Зеленый	5	2	-	5	3	2	1	3
Красный	3	2	1	-	2	0	3	1
Желтый	2	3	3	4	-	2	5	6
Фиолетовый	3	5	4	6	4	-	3	4
Коричневый	0	4	5	3	1	3	-	1
Черный	4	4	1	5	0	2	5	-

Элементом матрицы  $f_{i,j}$  является частота, с которой в паре  $j,i$  стимул  $i$  оценивался более предпочтительным, чем стимул  $j$ .

Полученная матрица частот  $F_i$  преобразуется в матрицу вероятностей  $P_i$  делением частоты  $f_{i,j}$  на число предъявлений ( $N=6$ ).

Таблица 2 – Матрица вероятностей,  $P_i$

Цвета $P_{ij}$	Серый	Синий	Зеленый	Красный	Желтый	Фиолетовый	Коричневый	Черный
Серый	-	0,33	0,17	0,50	0,67	0,50	1,00	0,33
Синий	0,66	-	0,67	0,67	0,50	0,17	0,33	0,33
Зеленый	0,83	0,33	-	0,83	0,50	0,33	0,17	0,50
Красный	0,5	0,33	0,17	-	0,33	0,00	0,50	0,17
Желтый	0,33	0,50	0,50	0,67	-	0,33	0,83	1,00
Фиолетовый	0,5	0,83	0,67	1,00	0,67	-	0,50	0,67
Коричневый	0	0,67	0,83	0,50	0,17	0,50	-	0,17
Черный	0,66	0,67	0,17	0,83	0,00	0,33	0,83	-
$\sum P_{ij}$	3,5	3,66	3,16	5	2,83	2,16	4,16	3,16

Элементом матрицы  $p_{i,j}$  является вероятность, с которой стимул  $i$  в паре  $j,i$  оценивался более предпочтительным, чем стимул  $j$ .

Каждое значение вероятности  $p_{i,j}$  из матрицы  $P_i$  переводится далее с помощью таблицы в единицы стандартного отклонения нормальной кривой –  $z_{i,j}$ , по которым и вычисляются шкальные значения  $S_j$  каждого стимула.

Таблица 3 – Матрица  $z_i$ -оценок

Цвета $Z_{ij}$	Серый	Синий	Зеленый	Красный	Желтый	Фиолетовый	Коричневый	Черный
Серый	0,00	-0,44	-0,95	0,00	0,44	0,00	-	-0,44
Синий	0,44	0,00	0,44	0,44	0,00	-0,95	-0,44	-0,44
Зеленый	0,95	-0,44	0,00	0,95	0,00	-0,44	-0,95	0,00
Красный	0,00	-0,44	-0,95	0,00	-0,44	-	0,00	-0,95
Желтый	-0,44	0,00	0,00	0,44	0,00	-0,44	0,95	-
Фиолетовый	0,00	0,95	0,44	-	0,44	0,00	0,00	0,44
Коричневый	-	0,44	0,95	0,00	-0,95	0,00	0,00	-0,95
Черный	0,44	0,44	-0,95	0,95	-	-0,44	0,95	0,00
$\sum Z_{ij}$	1,39	0,51	-1,02	2,78	-0,51	-2,27	0,51	-2,34

Элементом матрицы  $Z'_{i,j}$  является вероятность  $p'_{j,i}$ , преобразованная в единицы стандартного отклонения. Переставим столбцы в матрице  $Z$  в таком порядке, чтобы первый столбец имел наименьшую сумму элементов, а последний – наибольшую.

Таблица 3 – Матрица  $Z'_i$ -оценок

Стимулы $Z'_{ij}$	Черный (8)	Фиолетовый (6)	Зеленый (3)	Желтый (5)	Синий (2)	Коричневый (7)	Серый (1)	Красный (4)
Серый	-0,44	0,00	-0,95	0,44	-0,44	-	0,00	0,00
Синий	-0,44	-0,95	0,44	0,00	0,00	-0,44	0,44	0,44
Зеленый	0,00	-0,44	0,00	0,00	-0,44	-0,95	0,95	0,95
Красный	-0,95	-	-0,95	-0,44	-0,44	0,00	0,00	0,00
Желтый	-	-0,44	0,00	0,00	0,00	0,95	-0,44	0,44
Фиолетовый	0,44	0,00	0,44	0,44	0,95	0,00	0,00	-
Коричневый	-0,95	0,00	0,95	-0,95	0,44	0,00	-	0,00
Черный	0,00	-0,44	-0,95	-	0,44	0,95	0,44	0,95
$\sum Z'_{ij}$	-2,34	-2,27	-1,02	-0,51	0,51	0,51	1,39	2,78

Из матрицы  $Z'_i$  можно получить матрицу различий между соседними парами столбцов, вычитая их поэлементно один из другого. В каждой  $j$ -й строке элемент этой матрицы будет равен  $(z_{j,i+1} - z_{j,i})$ .

Таблица 4 – Матрица разностей между столбцами

$St/d_{i,j}$	Фиолетовый (6)	Зеленый (3)	Желтый (5)	Синий (2)	Коричневый (7)	Серый (1)	Красный (4)
Серый	0,44	-0,95	1,39	-0,88	0,44	0,00	0,00
Синий	-0,51	1,39	-0,44	0,00	-0,44	0,88	0,00

Зеленый	-0,44	0,44	0,00	-0,44	-0,51	1,90	0,00
Красный	0,95	-0,95	0,51	0,00	0,44	0,00	0,00
Желтый	-0,44	0,44	0,00	0,00	0,95	-1,39	0,00
Фиолетовый	-0,44	0,44	0,00	0,51	-0,95	0,00	0,00
Коричневый	0,95	0,95	1,90	1,39	-0,44	0,00	0,00
Черный	-0,44	-0,51	0,95	0,44	0,51	-0,51	0,51
$\Sigma$	0,07	1,25	4,31	1,02	0,00	0,88	0,51
Число элементов	8,00	8,00	5,00	5,00	8,00	4,00	7,00
1/n	0,0087	0,1562	0,862	0,204	0	0,22	0,0728

Пользуясь выражением (11), вычисляем из полученных различий шкальные значения стимулов, приняв, что  $S_8 = 0$ :

$$S_8 = 0; \quad S_6 = 0 + 0,0087 = 0,0087; \quad S_3 = 0,0087 + 0,1562 = 0,165,$$

$$S_5 = 0,165 + 0,862 = 1,027; \quad S_2 = 1,027 + 0,204 = 1,231;$$

$$S_7 = 1,231 + 0 = 1,231; \quad S_1 = 1,231 + 0,22 = 1,451;$$

$$S_4 = 1,451 + 0,0728 = 1,523.$$

Получается следующая шкала индивидуальных цветовых предпочтений исследуемого респондента (табл. 5).

Таблица 5 – Шкала индивидуальных цветовых предпочтений респондента

Черный	Фиолетовый	Зеленый	Желтый	Синий	Коричневый	Серый	Красный
0	0,0087	0,165	1,027	1,231	1,231	1,451	1,523

Описанная выше методика была выбрана для создания модуля предварительного опроса в системе тестирования на основе цветовых предпочтений респондентов. Ниже на рисунке 1 представлен алгоритм реализации методики построения шкалы индивидуальных цветовых предпочтений, на основе которого был создан специализированный программный комплекс.

Использование программного комплекса подразумевает выполнение следующих этапов:

- 1) предварительное тестирование (построение индивидуальной шкалы цветовых предпочтений);
- 2) основное тестирование (ответы на вопросы по теме тестирования);
- 3) формирование отчетов;
- 4) анализ сформированных отчетов экспертом-аналитиком.

Ниже на рисунке 2 представлена общая схема процесса тестирования на основе индивидуальных цветовых предпочтений респондентов.

Процесс предварительного опроса выглядит следующим образом: в окне программы респонденту предъявляются парами цветные прямоугольники, его задача заключается в том, чтобы оценить, какой из 2-х цветов для него наиболее предпочтителен. Как только испытуемый дает ответ, на экране появляется следующая пара стимулов. Все цвета встречается друг с другом по 6 раз. Три раза каждый из цветов предъявляется слева, три раза – справа. В верхнем правом углу экрана каждый раз высвечивается порядковый номер пробы [3].

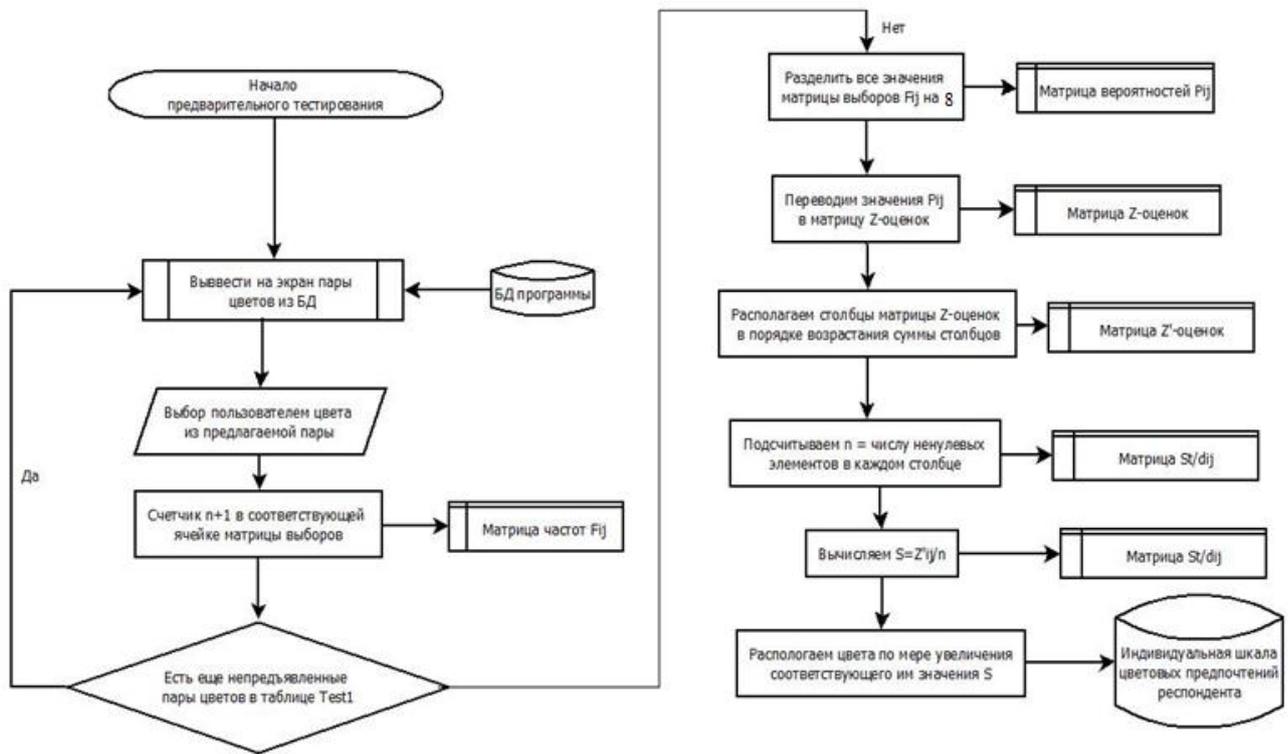


Рисунок 1 – Алгоритм построения индивидуальной шкалы индивидуальных предпочтений

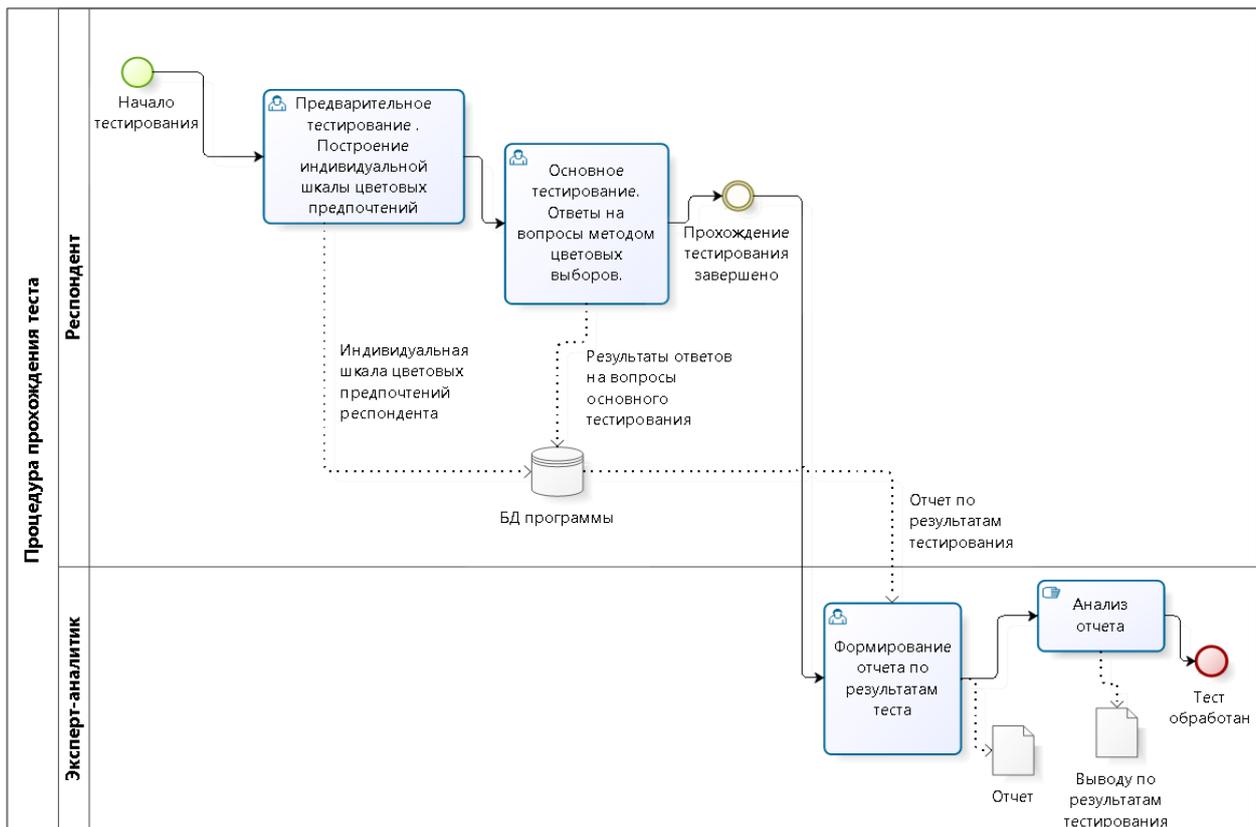


Рисунок 2 – Общая схема процедуры тестирования

После того, как респондент ответит на все цветовые пары, составляется его индивидуальная шкала цветовых предпочтений. Каждому цвету присваивается определенный балл в зависимости от его положения в шкале. Это позволяет нам в дальнейшем использовать цветовые оценки в качестве альтернативы традиционным

количественным методам дискретных оценок посредством перевода цветовых ответов в традиционные балльные. Это позволяет исключить субъективный фактор в ответах респондента, связанный с традициями социума, стремлением отвечать на вопросы как принято в обществе. Цвет в отличие от балльных оценок позволяет получать значительно более точные результаты опросов, не зависящие от субъективных факторов.

На данный момент уже разработан программный комплекс, реализующий приведенный выше алгоритм, и ведутся работы по автоматизации процесса обработки ответов респондента на вопросы основного тестирования с использованием цветовых оценок.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гусев А.Н., Измайлов Ч.А., Михалевская М.Б. Измерение в психологии. Общий психологический практикум. – М: Смысл, 1997. – 229 с.
2. Спасенников В.В., Кондратенко С.В. Методы анализа и моделирования деятельности операторов в процессе эргономического обеспечения разработки и эксплуатации человекомашинных комплексов // Вестник БГТУ, 2015. – № 1(45). – С. 87-94.
3. Кондратенко С.В. Структура системы диагностики индивидуальных цветопредпочтений для оценки отношений респондентов к визуальным объектам; под редакцией А.Н. Анохина, П.И. Падерно, С.Ф. Сергеева // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Психология труда, инженерная психология и эргономика 2014». – Эрго, 2014. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 60-63.
4. Люшер М. Цветовой тест Люшера; пер. с англ. А. Никоновой. – М.; СПб.: АСТ: Сова, 2007. – 190 с.
5. Соломин И.Л. Современные методы психологической экспресс-диагностики и профессионального консультирования. – СПб.: Речь, 2006. – 280 с.
6. Терстуон Л.Л. Психофизический анализ; под ред. А.Г. Асмолова, М.Б. Михалевской // Проблемы и методы психофизики. – М.: Издательство Московского университета, 1974.
7. Guilford J.P. Psychometric Methods // N.Y., Toronto, London: Mc-Graw-Hill, 1954.
8. Torgerson N.S. Theory and Method of scaling // N.Y.: John Wiley and Sons, 1958.

**Аверченков Владимир Иванович**

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

Доктор технических наук, профессор

Тел.: 8 (4832) 56-05-33

E-mail: aver@tu-bryansk.ru

**Кондратенко Сергей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

Аспирант

Тел.: 8 (4832) 56-05-33

E-mail: sergejkonet@mail.ru.

**Спасенников Валерий Валентинович**

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

Доктор психологических наук, профессор

Тел.: 8 (4832) 56-05-33

E-mail: spas1956@mail.ru

---

V.I. AVERChENKOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor*)

S.V. KONDRATENKO (*Post-graduate Student*)

V.V. SPASENNIKOV (*Doctor of Psychological Sciences, Professor*)

*Bryansk State Technical University, Bryansk*

THE APPLICATION OF THE SCALE OF INDIVIDUAL COLOR PREFERENCES OF RESPONDENTS IN TESTING METHODS

*The article describes the method of constructing an individual scale color preferences of the respondent on the basis of paired choices. And developed an algorithm using this methodology within the software package.*

**Keywords:** *color preferences; the method of election of the pair; the individual scale color preferences; testing methodology.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Gusev A.N., Izmajlov Ch.A., Mixalevskaya M.B. Izmerenie v psixologii. Obshhij psixologicheskij praktikum. – M: Smy'sl, 1997. – 229 s.
2. Spasennikov V.V., Kondratenko S.V. Metody analiza i modelirovaniya deyatel'nosti operatorov v processe e'rgonomicheskogo obespecheniya razrabotki i e'kspluatacii chelovekomashinny'x kompleksov // Vestnik BGTU, 2015. – № 1(45). – S. 87-94.
3. Kondratenko S.V. Struktura sistemy' diagnostiki individual'ny'x cvetopredpochtenij dlya ocenki otnoshenij respondentov k vizual'ny'm ob'ektam; pod redakciej A.N. Anoxina, P.I. Paderno, S.F. Sergeeva // Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Psixologiya truda, inzhener'naya psixologiya i e'rgonomika 2014». – E'rgo, 2014. – Sankt-Peterburg, 2014. – S. 60-63.
4. Lyusher M. Cvetovoj test Lyushera; per. s angl. A. Nikonovoj. – M.; SPb.: AST: Sova, 2007. – 190 s.
5. Solomin I.L. Sovremenny'e metody' psixologicheskoy e'kspress-diaagnostiki i professional'nogo konsul'tirovaniya. – SPb.: Rech', 2006. – 280 s.
6. Terstuon L.L. Psixofizicheskij analiz; pod red. A.G. Asmolova, M.B. Mixalevskoj // Problemy' i metody' psixofiziki. – M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1974.
7. Guilford J.P. Psychometric Methods // N.Y., Toronto, London: Mc-Grow-Hill, 1954.
8. Torgerson N.S. Theory and Method of scaling // N.Y.: John Wiley and Sons, 1958.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ  
НИЗКОСКОРОСТНОГО КОДИРОВАНИЯ РЕЧИ  
ПРИ УЧЕТЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДЕКОМПОЗИЦИИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА**

*Рассмотрена проблематика метода прямого линейного предсказания речевого сигнала в контексте понижения скорости передачи с сохранением приемлемого качества на основе учета взаимозависимостей элементов декомпозиции речевого сигнала.*

**Ключевые слова:** речевой сигнал; низкоскоростное кодирование речи; метод линейного предсказания.

При обработке речевого сигнала (РС) одной из основных задач является его качественное, эффективное и компактное представление для дальнейшего использования или передачи по каналам связи. Решение данной задачи позволяет увеличить пропускную способность каналов связи, улучшить качественные характеристики обрабатываемого РС.

В основе реализации процедур предсказания лежит декомпозиция речевого сигнала и представление его в виде отклика дискретной системы с постоянными параметрами на локальных временных участках на соответствующий сигнал возбуждения, при этом соответствующие множества параметров декомпозиции считаются взаимно несвязанными между собой [1, 2].

Целью данной работы является выявление существующих зависимостей параметров декомпозиции речевого сигнала при линейном предсказании и использование их для повышения качественных характеристик процедур обработки речевых сигналов.

Для реализации перспективных алгоритмов обработки речи с целью дальнейшей его передачи по каналу связи предлагается использовать системы не только с переменными параметрами, но и с переменной структурой. В процессе функционирования таких систем мощности пространств представлений параметров и взаимосвязи между структурными элементами, а также их количество могут изменяться. Это позволит повысить показатели функционирования систем обработки РС, так как система будет адаптивно изменять свою структуру, выбирая наилучшую из заданного конечного множества вариантов структур.

Анализ методов и алгоритмов обработки речевых сигналов показал актуальность работ по созданию нового поколения систем подобного класса, основанных на исследовании статистических и параметрических характеристик распределения параметров речи и изменения в соответствии с ними структуры и параметров системы.

Такая система обработки может состоять из следующих элементов [3]:

- выделители параметров классификации;
- классификаторы;
- устройства, обеспечивающие реализацию макропроцедур обработки речи (векторные квантователи, липредеры);
- устройства, предназначенные для дополнительной обработки речевого сигнала (шумоподавление, изменение спектральных свойств).

Процессом изменения структуры и параметров устройства обработки в реальном масштабе времени должно управлять устройство, в котором будет происходить анализ и выделение параметров РС (рис. 1).

В соответствии с полученными характеристиками и сравнении их с эталонами должна выбираться одна из возможных структур обрабатывающего устройства, которая наиболее адекватно отобразит РС на сегменте анализа [3, 4].

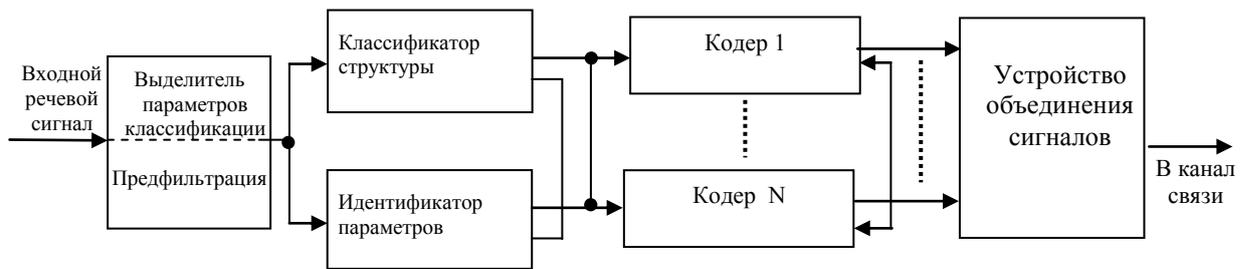


Рисунок 1 – Структура системы кодирования

При оптимизации системы появляются количественный и качественный выборы числа параметров, необходимых для обработки речевого сигнала с заданным качеством. При обработке речевых сигналов функционируют два адаптивных контура управления: первый производит оптимизацию структуры обрабатывающего устройства, второй – оптимизацию передаваемых параметров для выбранной структуры системы.

Среди многообразия разработанных методов обработки речевого сигнала одним из наиболее эффективных является метод прямого предсказания речи [5], использующийся в последних стандартах низкоскоростного речевого кодирования. (табл.1)

Таблица 1 – Распределение информационных ресурсов в стандартизованных липредерах

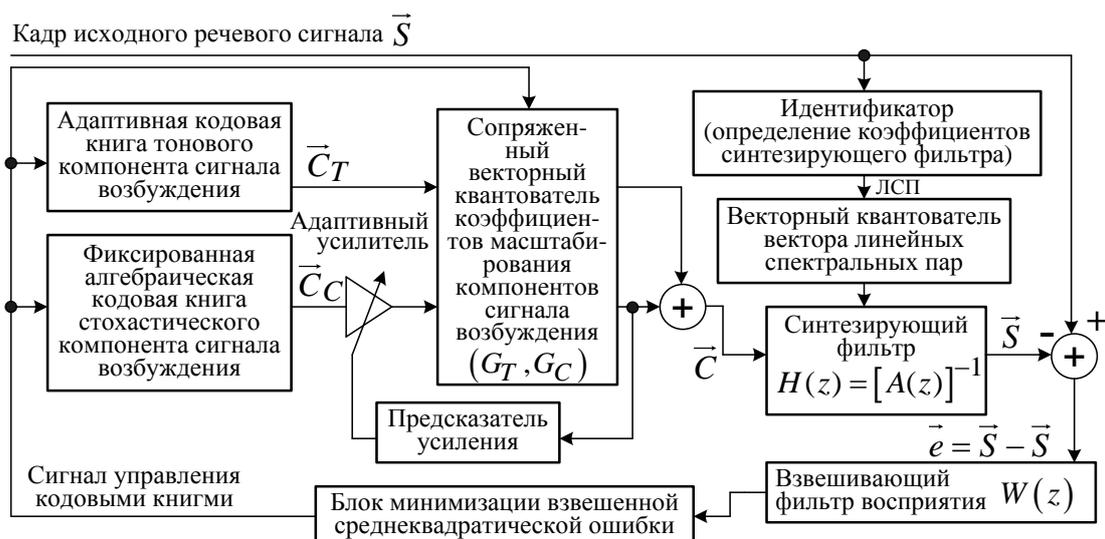
Стандарт	GSM	G.729	Усредненное распределение
Тип липредера	RPE-LTP-LPC	CS-ACELP	
$V_K, \text{кбит} / \text{с}$	13	8	
Коэффициенты модели	0,14	0,23	0,19
Сигнал возбуждения	0,86	0,77	0,81

Анализ таблицы 1 указывает на тот факт, что основная доля информационных ресурсов кадра передачи расходуется на представление информации о сигнале возбуждения.

Из статистического анализа РС известно, что распределение формант и их число для различных звуков речи отличается друг от друга [6]. Данное свойство РС может использоваться для построения системы компрессии речи с изменяемым числом параметров формирующей модели. В зависимости от полученных статистических характеристик обработанного фрагмента речи принимается решение о передаче параметров, характеризующих передаточную функцию голосового тракта формирующего речевой сигнал – линейных спектральных пар и соответствующего сигнала возбуждения, их нахождение реализуется с использованием процедуры анализа через синтез.

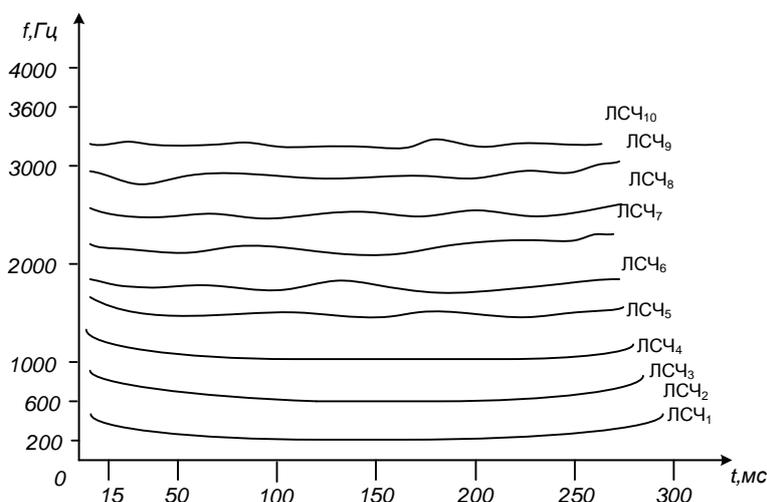
Классическая функциональная схема кодера, реализующего данный подход, приведена на рисунке 2.

Предполагается, что лучшую возможность в плане повышения качества обработки речевых сигналов может принести также реализация формирования переменной границы сегмента анализа и внедрение дополнительных алгоритмов цифровой обработки на входе и выходе: пред- и постфильтрация, а также преднамеренного искажения формы сигнала на основе известных функций, учитывающих психоакустическое восприятие речи человеком.



**Рисунок 2 – Функциональная схема классического кодера линейного предсказания речевого сигнала на основе процедуры анализа через синтез**

В вокодере на основе линейного предсказания при кодировании гласных звуков (рис. 3) статистическое распределение линейных спектральных пар на нескольких подряд следующих сегментах анализа практически не изменяется, следовательно, нет необходимости от кадра к кадру передавать их полное количество. Таким образом, передается только разность между первыми – наиболее значимыми парами линейных спектральных частот. В синтезирующем фильтре происходит подстройка коэффициентов на каждом кадре передачи. Возбуждение синтезирующего фильтра производится векторным сигналом аппроксимирующим остаток линейного предсказания [6].



**Рисунок 3 – Значения линейных спектральных частот на сегментах одинаковой природы образования**

Синтез систем подобного класса рассматривается как многокритериальная оптимизационная задача. Подобный класс оптимизационных задач возникает тогда, когда оптимизация ведется по нескольким различным критериям, предъявляемым к системе компрессии. При решении данной задачи целесообразно воспользоваться методами, описанными в [4, 5]. Данные методы приводят к получению приемлемых характеристик системы, используемых при ее синтезе.

Синтез систем с переменной структурой может быть реализован двумя методами:

- 1) дискретизацией структуры;
- 2) путем ее эволюционной оптимизации.

Если структура образуется набором структурных элементов, то ее состояние удобно кодировать двоичным вектором, определяющим ее построение:

$$W = (w_1, \dots, w_n), \quad (1)$$

где  $w_i$  характеризует наличие ( $w_i = 1$ ) или отсутствие ( $w_i = 0$ )  $i$ -го структурного элемента в системе. На вектор  $W$ , показанный в (1), могут быть наложены ограничения в виде равенств и неравенств, характеризующие зависимость между структурными элементами. Тогда задача проектирования системы обработки может быть задана следующей оптимизационной задачей:

$$\begin{aligned} A &\rightarrow \max; \\ A &= \psi(K, w); \\ V_m &= \text{var}; V_m \in [V_{m1} \dots V_{mn}]; \\ \tau &\leq \tau_0; \\ A(w) &\rightarrow \max_{w \in N} \Rightarrow W_{on}, \\ R &\leq R_0; \\ A_n &\geq A_{0n}(P_c); \\ W &\in [w_1, \dots, w_n] \end{aligned} \quad (2)$$

где  $A$  – показатель качества;  $V_m$  – скорость передачи;  $R_0$  – сложность ее функционирования;  $\tau_0$  – время задержки.

Если структура  $W$  проектируемой системы обработки может изменяться так, что будут соблюдаться ограничения, накладываемые на форму структуры, то синтез такой структуры может быть реализован так называемым эволюционным методом. При этом вариации  $\delta w$  структуры не выходят за пределы заданных ограничений, то есть:

$$w + \delta w \in N. \quad (3)$$

Предложенные методы целесообразно применять в случае унимодальности задачи (2), однако это не всегда возможно для задач обработки речи.

Основная трудность практической реализации таких систем связана с отсутствием априорной информации о вероятной мощности пространства представлений различных вариантов структур при оптимальном решении данной задачи. Устранение данной неопределенности частично реализуется при рациональном ограничении возможных вариантов при заданном требуемом качестве обработки, так как необходимо передавать информацию о состоянии и структуре системы в процессе ее функционирования. При синтезе систем обработки речевых данных многие решения носят эмпирический характер, так как пока отсутствует четкий математический аппарат, который позволил бы связать воедино паритетный выбор между количеством возможных структур, качеством функционирования, алгоритмом работы и сложностью функционирования.

В общем случае при обработке РС и использовании байесова подхода в идеальном виде требуется знание функциональной зависимости ожидаемой ошибки  $e(n)$  от принятого решения  $U$  и значений  $S(n)$  обрабатываемого речевого сигнала. Для вычисления данного значения необходимо статистическое описание наблюдений  $S(n)$ , а также параметров состояния синтезирующей системы. При этом полезный объем этих данных определяет значение ожидаемой ошибки при любом из ограниченного множества возможных решений. Решение задачи синтеза системы в такой постановке осуществляется при известных распределениях вероятности  $p(S | (\vec{a}, \vec{e}))$  и  $p(\vec{a}, \vec{e})$ , где  $S$  – значения отсчетов РС на сегменте анализа;  $(\vec{a}, \vec{e})$  – пара векторов параметров голосового тракта и сигнала возбуждения соответственно, выбранные с использованием процедуры анализа через синтез. Однако на

практике полное статистическое описание  $S(n)$  и  $(\bar{a}, \bar{e})$  получить невозможно, что связано в данном случае с высокой размерностью решаемой задачи и сложностью статистического анализа речевых данных.

Аппроксимация распределений  $S(n)$  и  $(\bar{a}, \bar{e})$  с использованием нормального распределения носит достаточно приближенный характер, ограничивающий область применения решений, и привносит ошибки в конечные результаты вычислений, следовательно, необходимо на этапе построения кодовых книг сигналов возбуждений и параметров передаточной функции голосового тракта учитывать данные зависимости. Их наличие объясняется тем, что в стандартах низкоскоростного кодирования речи используется ограниченный порядок анализирующего и синтезирующего фильтров, что определяется возможностью их физической реализации при необходимой и достаточной точности описания передаточной функции голосового тракта человека.

В основе систем предсказания лежит использование авторегрессионной модели параметрического цифрового спектрального анализа [1]. Ее идентификация связана с решением системы алгебраических матричных уравнений Юла-Уокера [4]. В классической постановке задачи параметрического цифрового спектрального анализа возбуждение формирующего фильтра осуществляется сигналом  $u(n)$ , представляющим собой реализации белого шума с математическим ожиданием равным нулю и единичной дисперсией (1).

$$\begin{cases} M\{u(n)\} = 0, \\ D\{u(n)\} = \sigma^2\{u(n)\} = 1. \end{cases} \quad (4)$$

Точность идентификации математической модели исследуемого процесса напрямую связана с выбором величины ее порядка  $M$ . В качестве критерия настройки модели в предположении о гауссовском законе распределения исходного процесса используется взвешенная среднеквадратическая ошибка (2).

$$e^2(n) = d_2(\bar{S}, \bar{S}') = \frac{1}{N} (\bar{S} - \bar{S}')^T (\bar{S} - \bar{S}') = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{S}_i - \bar{S}'_i)^2, \quad (5)$$

где  $\bar{S}$  – вектор оригинального РС;  $\bar{S}'$  – вектор синтезированного РС;  $N$  – количество отсчетов на сегменте анализа.

Применительно к задаче линейного предсказания речи повышение порядка передаточных функций фильтров анализа и синтеза приводит к «обелению» сигнала остатка предсказания, который, согласно [1], является наилучшим сигналом возбуждения. Присутствие зависимостей между параметрами, описывающими передаточную функцию голосового тракта на участке квазистационарности и соответствующего сигнала возбуждения, объясняется особенностями постановки и решения обратной задачи цифрового спектрального анализа при фиксированном порядке формирующего фильтра [6].

В классической постановке задачи параметрического цифрового спектрального анализа на основе авторегрессионной модели линейное разностное уравнение формирующего фильтра выглядит следующим образом (3):

$$y(nT) = - \sum_{m=1}^M a_m y(nT - mT) + u(nT), \quad (6)$$

где  $y(nT)$  – выходной сигнал;  $T$  – интервал дискретизации;  $a_m$  – коэффициенты фильтра.

Его амплитудно-частотная характеристика определяется в виде

$$A(wT) = \frac{1}{\sqrt{(1 + \sum_{m=1}^M a_m \cos mwT)^2 + (\sum_{m=1}^M a_m \sin mwT)^2}}, \quad (7)$$

а спектральная плотность мощности:

$$G(w) = \frac{\sigma^2 \{u(n)\}T}{(1 + \sum_{m=1}^M a_m \cos mwT)^2 + (\sum_{m=1}^M a_m \sin mwT)^2}, \quad (8)$$

где  $w$  – круговая частота дискретного преобразования Фурье.

Повышение порядка модели в выражениях (6), (7) и (8) приводит к получению более точных оценок относительно анализируемого сигнала  $\vec{S}$ . В идеале  $e^2(n) \rightarrow 0$  при  $M \rightarrow \infty$ .

Однако при реализации линейного предсказания значение  $M$  всегда ограничено, что приводит к возникновению сигнала ошибки  $e(n)$ , являющегося сигналом возбуждения фильтра синтеза модели линейного предсказания. Таким образом, сигнал  $e(n)$  уже не является реализациями белого шума с математическим ожиданием равным нулю и единичной дисперсией, а становится квазидетерминированным относительно множества  $\{a_m\}$  и связан с ним соответствующими корреляционными зависимостями. На рисунке 4 представлена спектральная плотность мощности речевого сигнала и сигнала остатка линейного предсказания на сегменте предсказания, его анализ позволяет также утверждать о наличии взаимосвязи данных параметров.

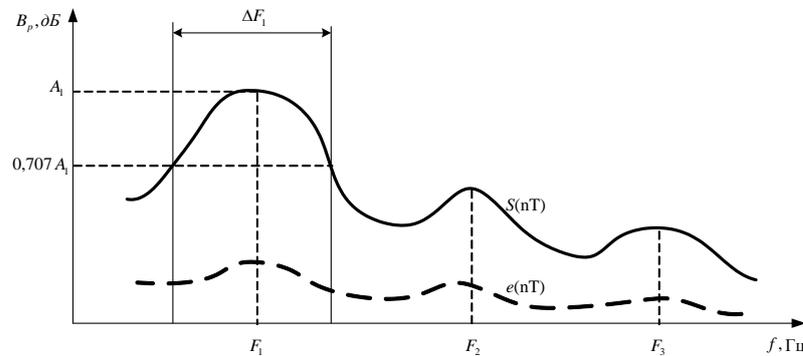


Рисунок 4 – Спектральная плотность мощности речевого сигнала и сигнала остатка линейного предсказания

При формировании ограниченных множеств параметров голосового тракта  $\{\alpha_i(n)\}$  и сигналов возбуждения в виде кодовых книг данные зависимости вырождаются в соответствующие классы подпространств соответствий между собой, что показано на рисунке 5.

К достоинствам такого подхода следует отнести тот факт, что устранение из кадра передачи информации о сигнале возбуждения позволяет значительно снизить скорость передачи данных в канале связи, а также уменьшить вычислительную сложность алгоритма кодирования речевого сигнала на передающей стороне, возможно значительное понижение скорости передачи данных в канале связи по сравнению с известными способами кодирования либо перераспределение информационного ресурса, предоставляемого каналом связи, на формирование дополнительных сервисов абонентского обслуживания.

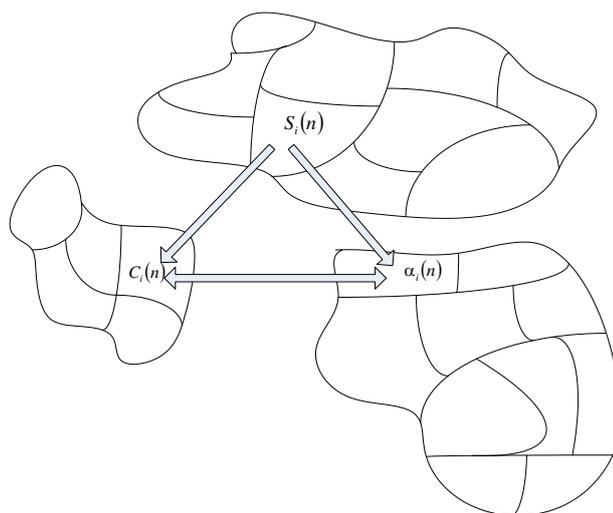


Рисунок 5 – Классы подпространств представлений соответствий параметров декомпозиции речевого сигнала

В таблице 2 показаны зависимости между векторами кодовой книги параметров голосового тракта и векторами сигналов возбуждения, кодовые книги были сформированы согласно алгоритму К-средних, как представлено в [1].

Таблица 2 – Соответствие векторов параметров декомпозиции речевого сигнала при линейном предсказании

Q, Номера векторов кодовой книги параметров голосового тракта	Номера векторов кодовой книги сигналов возбуждения, e(n)						
1	18	38	69	203	250	–	–
2	36	54	67	–	–	–	–
3	71	84	93	189	226	245	254
4	5	18	104	200	212	–	–
5	9	32	40	–	–	–	–

При реализации предлагаемых решений было выявлено, что использование взаимозависимостей параметров голосового тракта и сигналов возбуждения при разработке низкоскоростных систем кодирования речи дает возможность сокращения средней скорости передачи при сохранении разборчивости синтезированной речи.

Применение предлагаемого подхода возможно в системах обработки речевых данных, использующих в своей основе процедуру линейного предсказания.

Таким образом, в представленной работе показаны возможные пути сохранения приемлемых качественных характеристик синтезированного РС при уменьшения скорости передачи благодаря использованию выявленных зависимостей между элементами декомпозиции РС. Актуальность исследований и значимость полученных результатов подтверждаются существующими объективными требованиями, предъявляемыми к разрабатываемым системам обработки РС, в частном случае при низкоскоростном кодировании РС, сформированными с учетом тенденций развития систем инфокоммуникаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи. – М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.: ил.
2. Прохоров Ю.Н. Статистические модели и рекуррентное предсказание речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1984. – 240 с.
3. Бухалев В.А. Распознавание, оценивание и управление в системах со случайной скачкообразной структурой. – М.: Наука, 1996. – 288 с.

4. Справочник по теории автоматического управления / под редакцией А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
5. Казаков И.Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
6. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – С. 216-224.

**Афанасьев Андрей Алексеевич**  
Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник  
Тел.: 8 (4862) 54-98-90  
E-mail: fromnet@yandex.ru

---

A.A. AFANAS'EV (*Employee*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**PROSPECTS OF LOW BIT RATE SPEECH CODING  
SYSTEMS DEVELOPMENT AT THE ACCOUNT OF THE SPEECH  
SIGNAL DECOMPOSITION ELEMENTS INTERDEPENDENCE**

*The problem of the forward speech signals linear prediction method in the context of the downward speed transmission with preservation of acceptable quality on the basis of the account of the speech signal decomposition elements interdependence is considered.*

**Keywords:** *speech signal; slow speech coding; method of linear prediction; neural networks.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Sheluxin O.I. Cifrovaya obrabotka i peredacha rechi. – М.: Radio i svyaz', 2000. – 456 s.: il.
2. Proxorov Yu.N. Statisticheskie modeli i rekurrentnoe predskazanie rechevy'x signalov. – М.: Radio i svyaz', 1984. – 240 s.
3. Buxalev V.A. Raspoznavanie, ocenivanie i upravlenie v sistemax so sluchajnoj skachkoobraznoj strukturoj. – М.: Nauka, 1996. – 288 s.
4. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya / pod redakciej A.A. Krasovskogo. – М.: Nauka, 1987. – 712 s.
5. Kazakov I.E. Statisticheskaya dinamika sistem s peremennoj strukturoj. – М.: Nauka, 1977. – 416 s.
6. Marpl-ml. S.L. Cifrovoj spektral'ny'j analiz i ego prilozheniya. – М.: Mir, 1990. – S. 216-224.

УДК 621.3

В.Г. ЛИСИЧКИН

## МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РЕЗОНАНСНОГО ТИПА С РАЗВЕРТЫВАЮЩИМ ЧАСТОТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

*Статья посвящена исследованиям в области совершенствования частотных методов измерений различных параметров материалов и веществ с помощью индуктивных и емкостных датчиков. Для повышения точности приборов резонансного контроля предлагается использование многопараметровых методов измерений и линейной развертки частоты возбуждающего сигнала. Выполнены аналитические и экспериментальные исследования процессов, связанных с появлением дополнительных погрешностей измерений, возникающих от влияния активных потерь в контролируемом материале и от «сноса» резонансной частоты, определены пути уменьшения этих погрешностей.*

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система; точность измерений; активные потери; «снос» резонансной частоты.

### ВВЕДЕНИЕ

На многих этапах промышленного и сельскохозяйственного производства находят применение разнообразные системы автоматического контроля технологических процессов, например, при оценке влажности веществ и материалов, для измерения толщины защитных покрытий. Значительная часть таких информационно-измерительных систем (ИИС) основана на применении частотных методов измерений и предназначена для резонансного контроля эквивалентных магнитных и электрических параметров веществ и материалов с помощью индуктивных и емкостных измерительных преобразователей. Использование частотных методов измерений основано на аналитической или экспериментальной модели взаимодействия исследуемой среды с высокочастотным электромагнитным полем [1]. Такие системы обладают большим многообразием, достаточно универсальны, просты и недороги в обслуживании, могут обеспечивать автоматическую обработку измерений с хорошей точностью и в широком диапазоне контроля. Наибольший интерес в этом классе ИИС вызывают резонансные многопараметровые измерительные системы с развертывающим частотным преобразованием.

### ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ИИС

В общем случае каждый из элементов, входящих в ИИС, может рассматриваться как определенный физический блок, на выходе которого формируется некоторая функция

$$Y = F(X, O, \Xi) \quad (1)$$

от вектора входных сигналов  $X$ , вектора  $O$  параметров самого блока и вектора побочных факторов  $\Xi$ . Суммарная точность измерений ИИС определяется точностью реализации соответствующих функций каждым из блоков.

Каждый этап обработки информации в ИИС сводится к физической реализации некоторой статической или динамической характеристики. Статической характеристикой является простая функция вида (1), в которой  $X$  имеет вид вектора текущих значений аргументов  $(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$ , а  $Y$  – текущее значение функции. Динамическая характеристика

принимает вид  $F\left(Y, O, \Xi, \frac{dY}{dt}, \frac{d^2Y}{dt^2}, \dots\right)$ . Исследование временной динамики этапов

преобразований в информационно-измерительной системе связано с решением дифференциальных уравнений вида  $F\left(Y, O, \Xi, \frac{dY}{dt}, \frac{d^2Y}{dt^2}, \dots\right) = 0$ .

На рисунке 1 представлена обобщенная схема резонансных измерений, реализуемых ИИС резонансного типа с возможностью осуществления параметрической модуляции в виде развертывающего частотного преобразования.

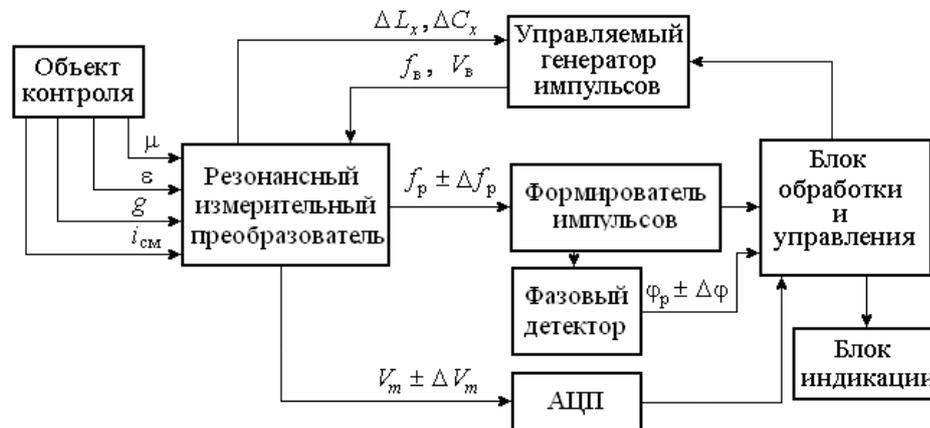


Рисунок 1 – Обобщенная схема резонансных измерений

Резонансный измерительный преобразователь подвергается высокочастотному зондированию сигналом возбуждения  $V_{\hat{a}}$  с выхода управляемого генератора импульсов изменяющейся частоты  $f_{\hat{a}}$ . При этом возмущение электромагнитного поля датчика, связанное с влиянием электрических и магнитных параметров, таких, как диэлектрической  $\epsilon$  и магнитной  $\mu$  проницаемости, тока смещения  $i_{\hat{m}}$  и электропроводности  $g$  контролируемого объекта, приводит к изменению индуктивности  $L_x$  или емкости  $C_x$  датчика, входящего в состав измерительного преобразователя. Это, в свою очередь, приводит к пропорциональному изменению резонансной частоты  $f_{\delta}$ , амплитуды  $V_m$  и начальной фазы  $\phi_{\delta}$  колебаний на выходе измерительного преобразователя, которые оцениваются в блоке обработки и управления.

### АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Динамической характеристикой ИИС с одноконтурным измерительным преобразователем, соответствующей общему описанию (1), служит дифференциальное уравнение второго порядка [2]:

$$A_1(d^2Y/dt^2) + A_2(dY/dt) + A_3Y = X, \quad (2)$$

где  $A_1 = \Phi_1(X, O, \Xi)$ ,  $A_2 = \Phi_2(X, O, \Xi)$  и  $A_3 = \Phi_3(X, O, \Xi)$  – параметры резонансной системы, зависящие в общем случае от входных воздействий  $X$ , характеристик измерительной системы  $O$  и побочных факторов  $\Xi$ ;  $Y$  – выходной сигнал измерительного преобразователя.

Нормированная передаточная функция для такой системы может быть записана в следующем виде [3]:

$$\hat{H}(j\omega) = 1 / (1 - (\omega/\omega_0)^2 + j2\delta(\omega/\omega_0)), \quad (3)$$

где  $\omega_0 = \sqrt{A_3/A_1}$  – частота резонанса системы без учета потерь;  $\delta = A_2/2\sqrt{A_3A_1}$  – коэффициент затухания, определяющаяся в основном активной проводимостью контролируемого объекта.

На основе уравнения (3) нетрудно получить соотношения, показывающие частотные зависимости изменений амплитуды  $V_m$ , резонансной частоты  $\omega_\delta = 2\pi f_\delta$  и начальной фазы  $\varphi_\delta$  сигнала на выходе измерительного преобразователя при возбуждении его сигналом изменяющейся частоты:

$$V_m(\omega) = 1 / \sqrt{[1 - (\omega / \omega_0)^2]^2 + 4(\delta)^2(\omega / \omega_0)^2} ; \quad (4)$$

$$\omega_\delta = \omega_0 \sqrt{1 - 2(\delta)^2} ; \quad (5)$$

$$\varphi_\delta(\omega) = -\arctg \left\{ 2\delta / (\omega_0 / \omega) [1 - (\omega / \omega_0)^2] \right\} . \quad (6)$$

Анализ выражений (4-6) позволяет сделать следующие выводы. При значениях  $0 < \delta < \sqrt{2}$  функция  $V_m(\omega)$  имеет максимум на частоте  $\omega_\delta$ . Величина этого максимума  $(V_m)_{\max}(\omega) = 1 / \delta \sqrt{1 - 2(\delta)^2}$  уменьшается при увеличении коэффициента затухания, при этом абсцисса максимума смещается влево от значения резонансной частоты  $\omega_0$  по закону (5). Фазовая характеристика имеет постоянное значение на частоте резонанса  $\omega_0$  независимо от затухания, величина коэффициента затухания влияет только на крутизну этой характеристики вблизи резонансной частоты: чем меньше  $\delta$ , тем выше скорость изменения фазы в окрестностях  $\omega_0$ .

На рисунке 2 показаны зависимости относительного смещения абсциссы точки максимума функции (4)  $\Delta\omega / \omega_0 = (\omega_0 - \omega_\delta) / \omega_0$  и изменения величины этого максимума  $(V_m)_{\max}$  от значения коэффициента затухания  $\delta$ .

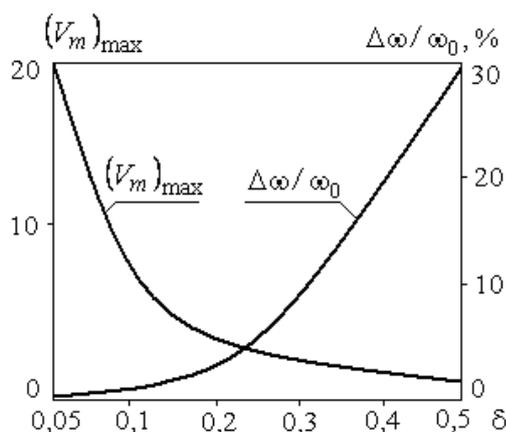


Рисунок 2 – Графики зависимости резонансной частоты и амплитуды от затухания

Из графиков на рисунке 2 видно, что при увеличении коэффициента затухания  $\delta$  от значения 0,05 до 0,5 происходит смещение абсциссы максимума характеристики (4) относительно  $\omega_0$  почти на 30% с одновременным уменьшением амплитуды этого максимума более чем на 17 дБ. Это означает, что измерение контролируемого параметра, величина которого является известной функцией от частоты резонанса измерительного преобразователя  $\omega_0$ , по максимуму резонансной кривой (что реализуется в большинстве существующих ИИС резонансного типа), осуществляется с погрешностью, которая растет с увеличением потерь в контролируемом материале и может достигать существенных значений (до 30%).

Для уменьшения выявленной погрешности предлагается двухпараметровый метод контроля, отличающийся тем, что принятие решения о значении измеряемой величины

основано на измерении двух параметров – резонансной частоты и амплитуды сигнала на выходе измерительного преобразователя. Поскольку от коэффициента затухания резонансной системы зависит максимальное значение амплитуды колебаний на выходе измерительного преобразователя, то по изменению амплитуды определяется значение коэффициента затухания и, соответственно, величина активных потерь в контролируемом материале. Это используется при обработке результатов в блоке обработки и управления (рис. 1) для автоматической компенсации погрешности при оценке измеряемого параметра – частоты резонанса. При этом частота резонанса выделяется не по максимальному значению амплитуды колебаний на выходе измерительного преобразователя, а с помощью фазовой характеристики, которая принимает постоянное значение на частоте  $\omega = \omega_0$  независимо от величины потерь.

Для расширения диапазона измерений и повышения универсальности систем резонансного контроля используется метод параметрической модуляции, основанный на линейном изменении частоты высокочастотного сигнала, возбуждающего измерительный преобразователь. При реализации данного метода в существующих измерительных системах не учитывается дополнительная методическая погрешность, возникающая из-за отклонения («сноса») измеряемого значения резонансной частоты от ее истинного значения. Это отклонение возникает при быстрой перестройке частоты по причине инерционности резонансной системы. Величина этой погрешности растет с увеличением скорости развертки частоты и уменьшением активных потерь (ростом добротности резонансной системы) [2].

Для оценки величины этой дополнительной погрешности временными методами был проведен анализ процессов, происходящих в резонансной системе при воздействии на нее высокочастотного сигнала  $x(t)$  с линейно изменяющейся частотой  $\omega(t)$ :

$$\omega(t) = \omega_1 + V_\omega t; \quad x(t) = X_m \cos(\omega_1 t + V_\omega t^2 / 2) \text{ при } t \geq 0,$$

где  $\omega_1$  – начальное значение частоты;  $V_\omega$  – скорость изменения частоты.

Получено выражение для выходного сигнала  $y(t)$  [4]:

$$y(t) = Y(t) \cos(\omega_1 t + V_\omega t^2 / 2 + \varphi(t)),$$

где огибающая амплитуд  $Y(t)$ , мгновенная частота и фаза зависят от параметров измерительного двухполюсника и от скорости изменения частоты  $V_\omega$ .

На рисунке 3 приведены графики изменения огибающей амплитуд при линейном возрастании частоты, полученные для различных значений отношения  $\Delta\omega / \sqrt{V_\omega}$ . По оси абсцисс отложена величина  $a(t) = Q \cdot \Delta\omega(t) / \omega_0$ , где  $\Delta\omega$  – отклонение текущего значения частоты от резонансной.

Анализ графиков на рисунке 3 показывает, что при развертке частоты максимальное значение огибающей амплитуд выходного сигнала не совпадает с резонансной частотой (так называемый «снос» резонансной частоты), причем расхождение увеличивается с ростом скорости перестройки частоты  $V_\omega$  и при повышении добротности  $Q$ . При этом наблюдается уменьшение максимального значения огибающей, резонансная кривая «размывается» и становится несимметричной, что повышает погрешность измерений.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

С целью получения количественных оценок погрешности от «сноса» проведена экспериментальная проверка полученных результатов с помощью моделирования в среде MathCAD. При входном сигнале, представленном в виде

$$x(t) = X_0 \sin(\omega_1 t + \Delta\omega t^2 / 2T) = X_0 \sin(\omega_1 t + (\Delta\omega / \omega_1)(\omega_1 t)^2 / 2T\omega_1),$$

частота которого изменяется по линейному закону, результаты моделирования представлены на рисунках 4, а, б, в.

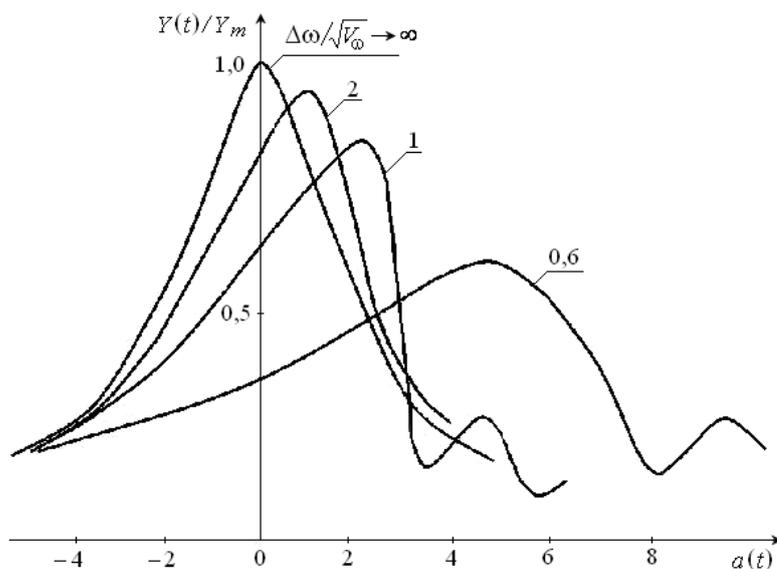
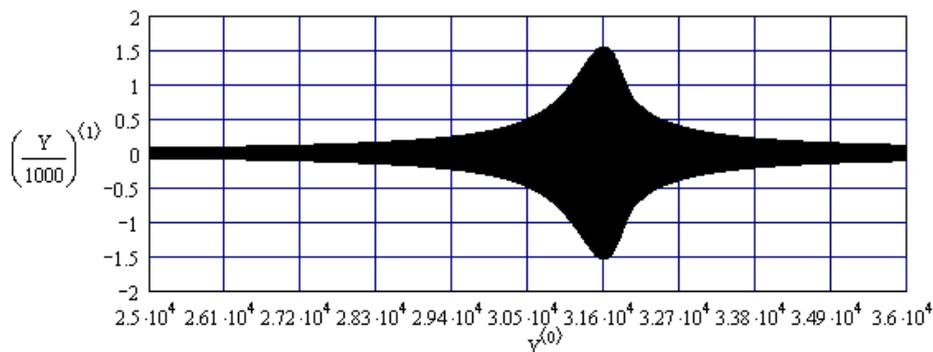


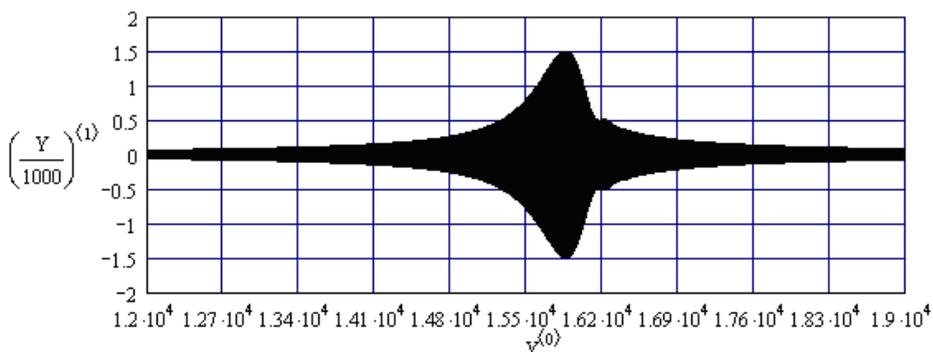
Рисунок 3 – Графики изменения огибающей амплитуд

На этих графиках показаны зависимости мгновенных значений выходного сигнала  $Y$  от мгновенной фазы  $\omega t$ .

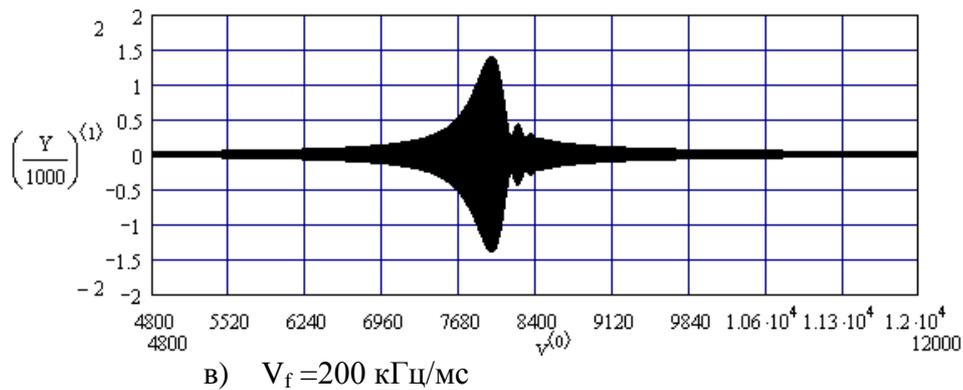
Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы [4]. Во-первых, максимум огибающей выходного сигнала (амплитудный резонанс) не совпадает с частотой нуля фазовой характеристики колебательного контура (фазовый резонанс), и оба резонанса не совпадают с частотой собственных колебаний резонансной системы, которая зависит только от значений параметров реактивных элементов. Во-вторых, наблюдается уменьшение максимального значения огибающей амплитуды колебаний, которое практически может ограничить диапазон измерения контролируемого параметра.



а)  $V_f = 50$  кГц/мс

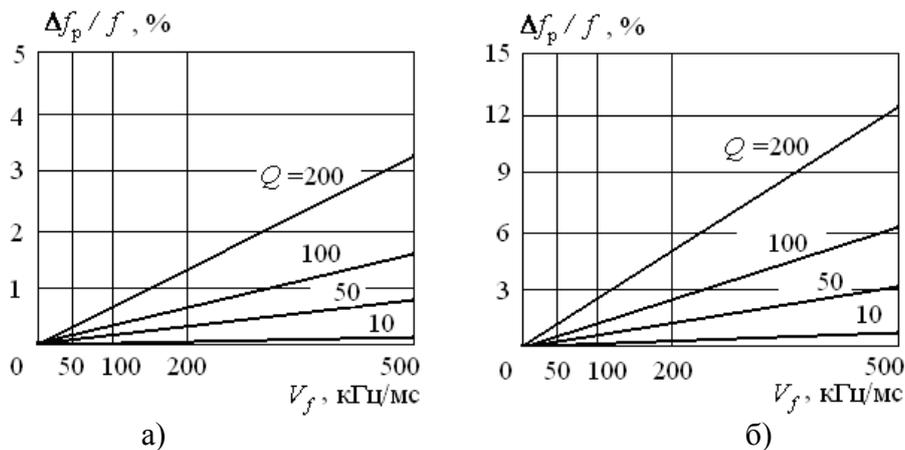


б)  $V_f = 100$  кГц/мс



**Рисунок 4 – Диаграммы изменения выходного сигнала при различных значениях скорости перестройки частоты**

На рисунке 5 приведены графики зависимости относительной величины «сноса» резонансной частоты  $\Delta f_{\delta} / f$  от скорости перестройки частоты при различных значениях добротности  $Q$  и рабочей частоты  $f$ . Анализ этих графиков позволяет сделать вывод, что при определенных условиях величина «сноса» частоты может достигать существенных значений.



**Рисунок 5 – Графики зависимости величины «сноса» частоты от скорости  $V_f$  и добротности  $Q$  на рабочих частотах 1000 кГц (а) и 500 кГц (б)**

На основании проведенных экспериментов можно сделать общий вывод. При осуществлении линейной развертки частоты в ИИС резонансного типа возникает дополнительная погрешность измерений за счет «сноса» резонансной частоты, величина которой зависит от параметров резонансной системы и скорости перестройки частоты и может достигать существенных значений, поэтому необходима компенсация этой погрешности.

Один из способов преодоления этих негативных явлений – применение двухтактной развертки частоты возбуждающего сигнала с изменением направления и скорости развертки во втором такте преобразования; использование генератора импульсов тока в качестве источника возбуждающего сигнала и стабилизация амплитуды выходных колебаний измерительного преобразователя во всем диапазоне контроля.

Модель двухтактной развертки частоты можно представить в следующем виде. В первом такте развертки длительностью  $\Delta t_1$  частота сигнала, возбуждающего измерительный преобразователь, увеличивается по закону  $\omega(t) = \omega_1 + V_{1\omega}t$  до момента наступления первого резонанса:

$$\omega_{\delta 1} = \omega_1 + V_{1\omega} \Delta t_1 = \omega_0 + \Delta \omega_{\delta 1},$$

где  $\Delta\omega_{\delta 1}$  – погрешность от «сноса» резонансной частоты, определяемая скоростью развертки  $V_{1\omega}$ .

Во втором такте направление развертки меняется на противоположное с одновременным уменьшением скорости изменения частоты:  $\omega(t) = \omega_{\delta 1} - V_{2\omega}t$ . Через промежуток времени  $\Delta t_2$  наступает второй резонанс:

$$\omega_{\delta 2} = \omega_{\delta 1} - V_{2\omega}\Delta t_2 = \omega_0 - \Delta\omega_{\delta 2}.$$

Поскольку  $V_{2\omega} \ll V_{1\omega}$ , то выполняется неравенство  $\Delta\omega_{\delta 2} \ll \Delta\omega_{\delta 1}$  и погрешность измерений от «сноса» существенно уменьшается.

## ВЫВОДЫ

Результаты выполненных исследований показывают, что один из основных побочных факторов при проведении измерений – активная проводимость контролируемого материала – существенно снижает точность измерений. Известные подходы к осуществлению резонансного контроля основаны на определении значения резонансной частоты измерительного преобразователя, в котором скрыта информация о контролируемой величине, по максимальному значению резонансной кривой, а это приводит в условиях активных потерь к появлению методической погрешности измерений, которая возрастает при увеличении потерь в контролируемом материале. Предлагается компенсация этой погрешности за счет использования двухпараметровых методов, когда кроме измерения основного параметра – резонансной частоты – измеряются значения амплитуды и начальной фазы высокочастотного сигнала на выходе измерительного преобразователя, которые используются для компенсации.

В существующих измерительно-информационных системах с развертывающим частотным преобразованием не учитывается дополнительная погрешность измерений резонансной частоты, возникающая из-за инерционности измерительных преобразователей. Ошибка измерений от «сноса» резонансной частоты, возникающая при реализации линейной развертки частоты возбуждающего сигнала в приборах резонансного контроля, реально существует и носит методический характер. Величина этой ошибки в зависимости от параметров резонансной системы и скорости перестройки частоты может достигать существенных значений, поэтому необходимо принимать меры по компенсации этой погрешности.

Использование двухтактной развертки частоты в многопараметровых приборах контроля с изменением скорости и направления развертки в разных тактах позволит значительно уменьшить погрешность от «сноса» резонансной частоты, увеличивая тем самым точность измерения контролируемых параметров различных материалов и веществ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник; под редакцией Г.С. Самойловича. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Советское радио, 1971. – 672 с.
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем: в 2-х кн. – Кн. 1; пер. с фр. – М.: Мир, 1992. – 480 с.
4. Лисичкин В.Г. Раздел 4. Исследование процесса резонансного контроля толщины покрытий с использованием цифровых методов обработки // Контроль и диагностика при обеспечении качества машиностроительных изделий. Коллективная монография. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – С. 150-184.

Лисичкин Владимир Георгиевич  
Академия ФСО России, г. Орел  
Доктор технических наук, доцент

E-mail: lisichkin-vg@rambler.ru

---

V.G. LISICHKIN (*Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**MODEL OF THE RESONANT INFORMATION-MEASURING SYSTEM  
WITH DEVELOPING FREQUENCY TRANSFORMATION**

*The article is devoted to perfection of frequency methods measurements by means of inductive and capacitor gauges. It is offered to use many-parametres measuring methods and linear frequency modulation to raise the accuracy of measuring devices. Analytical and experimental researches of measuring additional errors are executed. The measurement error by the reason of active losses in a controllable material and resonant frequency «pulling down» is defined and the way of its reduction is specified.*

**Keywords:** *information-measuring system; accuracy of measurements; active losses; «pulling down» of resonant frequency.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Nerazrushayushhij kontrol' metallov i izdelij. Spravochnik; pod redakciej G.S. Samojlovicha. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 456 s.
2. Gonorovskij I. S. Radiotexnicheskie cepi i signaly'. – M.: Sovetskoe radio, 1971. – 672 s.
3. Ash Zh. Datchiki izmeritel'ny'x sistem: v 2-x kn. – Kn. 1; per. s fr. – M.: Mir, 1992. – 480 s.
4. Lisichkin V.G. Razdel 4. Issledovanie processa rezonansnogo kontrolya tolshhiny' pokry'tij s ispol'zovaniem cifrov'x metodov obrabotki // Kontrol' i diagnostika pri obespechenii kachestva mashinostroitel'ny'x izdelij. Kollektivnaya monografiya. – M.: Izdatel'skij dom «Spektr», 2012. – S. 150-184.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ОНТОЛОГИЧЕСКИМИ ПАТТЕРНАМИ СОДЕРЖАНИЯ ПРИ РАБОТЕ С ОНТОЛОГИЯМИ

*В статье рассматривается применение онтологических паттернов содержания и установление отношений между ними. Приводятся способы использования данных отношений при выполнении запросов к онтологиям, а также визуализации их содержимого.*

**Ключевые слова:** онтология; визуализация; шаблоны онтологического проектирования.

### ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одним из развивающихся подходов к разработке онтологий является использование паттернов онтологического проектирования (Ontology Design Patterns, ODP) [1], которые представляют собой эффективные решения регулярно возникающих проблем онтологического моделирования. Это позволяет разработчикам онтологии оперировать не специфическими языковыми конструкциями (аксиомами OWL, триплетами RDF), а их комбинациями, которые имеют описание своего назначения и определенные способы применения. В этом случае разработчику достаточно реализовать паттерн указанным для него образом. Паттерны подразделяются на несколько типов в зависимости от решаемых задач: структурные паттерны (Structural ODPs, SDP), паттерны соответствия (Correspondence ODPs, CDP), паттерны содержания (Content ODPs, CDP), паттерны логического вывода (Reasoning ODPs, RDP), паттерны представления (Presentation ODPs, PDP), лексико-синтаксические паттерны (Lexico-syntactic ODPs, LDP).

В данной статье представлено продолжение исследования [2], посвященного применению онтологических паттернов при разработке, сопровождении и использовании онтологий. Основное внимание сосредоточено на онтологических паттернах содержания (CDP). Это обусловлено тем, что именно они в первую очередь используются при разработке и пополнении онтологии. CDP представляют собой небольшие фрагменты онтологий, на основе которых можно описать типовые положения вещей в предметной области (участие в событиях, части целого, последовательность сущностей и др.). С каждым CDP ассоциируется набор квалификационных вопросов (Competency Questions), ответы на которые можно получить из онтологии в случае применения паттерна. Таким образом, CDP являются рекомендуемыми способами построения фрагментов онтологий, представляющих предметные знания об объекте предметной области, полученные при его рассмотрении с определенной точки зрения.

Между отдельными CDP могут быть определены отношения. Например, CDP «Действие», определяющий событие, его предпосылки, следствия и продолжительность, можно рассматривать как специализацию CDP «Последовательность» (Sequence), задающего упорядоченное множество элементов. Однако в работах [3-5], посвященных использованию онтологических паттернов, не рассмотрены возможные пути применения данных отношений. Поэтому основной задачей в данной работе является исследование условий установления отношений между CDP и возможностей их использования в типовых сценариях работы с онтологиями.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ПАТТЕРНАМИ

На данный момент авторами технологии экстремальной разработки онтологий (eXtreme Design methodology, XD) [5], основанной на использовании онтологических паттернов, был разработан и поддерживается публичный каталог паттернов [4], содержащий в том числе и набор CDP, которые добавляются в него и оцениваются пользователями – членами экспертного сообщества.

В каталоге для CDP заданы следующие отношения: «имеет часть» (has-components), «специализирует» (specialization) и «соотнесен» (related). Следует заметить, что пользователи не всегда задают отношения добавляемого паттерна с имеющимися в каталоге, даже в том случае, если наличие отношений следует из состава элементов и описаний паттернов. Вероятно, это связано с отсутствием каких-либо правил их задания, а также довольно большим числом CDP в каталоге, что делает затруднительным анализ отношений нового CDP с каждым из имеющихся.

В результате анализа назначения и структуры существующих связанных CDP, а также их OWL описаний (мини-онтологий) сформулируем следующие правила установления отношений:

- отношение «специализирует» (specialization) между CDP A и B устанавливается в случае, если A определяет более детальный, чем B, взгляд на понятие предметной области. Это проявляется в том, что описание A включает целиком описание B и при этом определяет наследников для некоторых его элементов. Данное отношение является транзитивным;
- отношение «имеет часть» (has-components) между CDP A и B устанавливается в случае, если A определяет новый взгляд на понятие предметной области, который включает целиком взгляд CDP B и при этом связывает его с другими взглядами и/или понятиями предметной области. Это проявляется в том, что описание CDP B целиком входит в описание A, при этом в нем устанавливаются дополнительные отношения между элементами описания CDP B и другими элементами. Таким образом, паттерн A задает новую структуру, включающую элементы паттерна B;
- отношение «соотнесется» (related) между CDP A и B устанавливается в случае, если они представляют различные по смыслу, но связанные по некоторым элементам взгляды на понятие предметной области. Это проявляется в том, что их описания имеют некоторые (но не все) общие элементы, и/или элементы описания одного паттерна являются наследниками некоторых элементов другого. Данное отношение является симметричным.

На основе заданных правил были определены следующие отношения между распространенными CDP (рис. 1).

	Action	ActingFor	Objectrole	AgentRole	Time interval	Region	Sequence	Bag	Collection	List	Set	Types of entities	Co-participation	Nary Participation	ParticipantRole	Participation	Role task	Situation	Description	Classification	Desc. & Situat.	Task execution	PartOf
Action					S/P		S/P	R	R	R	R	R	R	R	R	R		R		R		R	R
ActingFor			R	R	R		R	R	R	R	R	R		R	R	R		R		R		R	R
Objectrole		R		S			R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S		R	R
AgentRole		R	S				R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	S		P	R
Time interval	S/P	R					R	R	R	R	R	R		P				R		R			R
Region							R	R	R	R	R	R								R			R
Sequence	S/P	R	R	R	R	R		R	R	S/P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Bag	R	R	R	R	R	R	R		S	S/P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R			R
Collection	R	R	R	R	R	R	R	S		S	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
List	R	R	R	R	R	R	S/P	S/P	S		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Set	R	R	R	R	R	R	R	R	P	R		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Types of entities	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R		R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Co-participation	R		R	R			R	R	R	R	R	R		R	R	P		R					R
Nary Participation	R	R	R	R	P		R	R	R	R	R	R			R	P		S		R	R	R	R
ParticipantRole	R	R	R	R			R	R	R	R	R	R	R	R		P	R	S	R	R	R	R	R
Participation	R	R	R	R			R	R	R	R	R	P	P	P				R		R		P	R
Role task			R	R			R	R	R	R	R			R			R	R	R	R		P	R
Situation	R	R	R	R			R	R	R	R	R	R	S	S	R	R		R		R	P	R	R
Description			R	R			R	R	R	R	R			R	R					R	P		R
Classification	R	R	S	S	R	R	R	R	R	R	R			R	R	R	R	R	R		P	R	R
Desc. & Situat.							R		R	R	R			R	R			P	P	P			R
TaskExecution	R	R	R	P			R	R	R	R	R	R	R	R	R	P	P	R		R			R
PartOf	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

Рисунок 1 – Отношения между общими (General) CDP:

R – «соотнесен», S – «специализирует», P – «имеет часть», S, P – обратные отношения

Следует отметить, что отношение «специализирует» отличается от «имеет часть» тем, что первое следует из того, что специализирующий паттерн определяет новые элементы, которые являются наследниками элементов специализируемого, а второе отношение вытекает лишь из установления связей между элементами паттерна-части с новыми для него понятиями. При этом возможна ситуация, когда между CDP эти отношения могут быть заданы одновременно. Например, в случае паттернов «Действие» (Action) и «Временной интервал» (Time interval) между ними определяются отношения «специализирует» и «имеет часть», так как паттерн «Действие» определяет наследников для класса «Временной интервал» – классы «Задержка» (Suspension) и «Продолжительность» (Duration), а также связывает их с новым для паттерна «Временной интервал» понятием «Действие» (Action). Для различия отношений в таких ситуациях и их детализации, которая в дальнейшем будет использована, имеет смысл указывать элементы, через которые данное отношение проявляется.

Обилие отношений «соотносится» у некоторых CDP (например, «Часть» (PartOf), «Классификация» (Classification), «Виды сущностей» (Type of entities) и др. ) связано с использованием в них абстрактных понятия «Сущность» (Thing или Entity), которое используется/специализируется в любом другом CDP.

### ПРИМЕНЕНИЕ СВЯЗЕЙ ПАТТЕРНОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПРОСОВ К ОНТОЛОГИИ

Распространенным способом обращения к содержимому онтологий является использование SPARQL – языка и протокола для работы с данными, представленного на основе модели RDF. В этом случае онтология рассматривается как RDF-документ, состоящий из набора триплетов вида: «субъект – свойство – объект». Например, «Автомобиль-219 – имеет-цвет – Бордовый», «Автомобиль-219 – имеет-год-производства – 2009». Каждый триплет можно рассматривать как дугу некоторого графа и, таким образом, весь RDF-документ представлять в виде графа. В этом случае типовой SPARQL-запрос на извлечение данных представляет конъюнкцию и/или дизъюнкцию шаблонов триплетов, в соответствии с которым из онтологии выбираются удовлетворяющие им наборы триплетов, так называемые решения (Solutions). Выполнение запросов осуществляется обработчиком запросов, который обычно является компонентом хранилища триплетов (RDF – Triple Store).

Успешное выполнение запросов требует знания структуры описания понятий, а также синтаксических правил формирования запросов. Учет CDP, использованных при разработке онтологии, позволяет заранее сформировать SPARQL-запросы для получения их реализаций, описывающих то или иное понятие.

Следует заметить, что такого вида запросы используются в XD-технологии на фазе тестирования результатов применения CDP пользователем. Их генерация производится на основе квалификационных вопросов CDP. Например, целевой вопрос для CDP «Объект-Роль» «Какая роль выполняется объектом?» преобразуется в следующий SPARQL-запрос:

```
PREFIX objRole: <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/objectrole.owl#>
SELECT ?role
WHERE {
    objIRI objRole:hasRole ?role.    },
```

где objIRI – идентификатор IRI экземпляра объекта в онтологии.

В данном случае в онтологии производится поиск триплетов, имеющих вершину с заданным пользователем объектом, представленный в запросе своим IRI-идентификатором (objIRI). В результате выполнения запроса будет представлена роль (ее IRI-идентификатор), которая будет содержаться в переменной ?role, указанной в секции «SELECT». Таким образом, для каждого CDP может быть составлен набор основ SPARQL-запросов, соответствующих его квалификационным вопросам. В этом случае ими может оперировать

пользователь для формирования SPARQL-запросов к онтологии без необходимости знания ее структуры и специального синтаксиса.

Использование отношений между CDP позволяет дополнять начальный SPARQL-запрос шаблонами триплетов, соответствующих связанным CDP, и тем самым детализировать запрос.

Рассмотрим следующую процедуру расширения запроса:

1. Пользователь выбирает начальный целевой вопрос из множества вопросов, соответствующих CDP, непосредственно использованных для описания некоторого понятия. Вопрос содержит наименование понятия и некоторую информацию о том, что необходимо о нем узнать.

2. Для выбранного вопроса формируется SPARQL-запрос. Запрашиваемая информация представляется в нем переменными в секции «SELECT».

3. Определяются варианты расширения запроса, путем формирования множества CDP, связанных с исходным. При этом выбираются лишь те CDP, которые имеют отношение через понятия (и их наследников), соответствующие переменным в секции SELECT исходного SPARQL-запроса.

4. Пользователю предъявляется для выбора множество квалификационных вопросов, соответствующих множеству CDP с предыдущего шага и позволяющие получить новую информацию о понятии.

5. Исходный SPARQL-запрос пополняется новыми переменными в секции SELECT и шаблонами триплетов, являющихся фрагментами SPARQL-запросов, которые соответствуют квалификационным запросам, выбранным на предыдущем шаге.

6. Далее при желании пользователя и наличия возможности осуществляется повтор шагов с 3-го по 5-й для дальнейшей детализации. В противном случае формирование запроса завершается.

Заметим, что на 5 шаге фрагменты, соответствующие соотнесенным и специализирующим CDP, задаются как необязательные с помощью ключевого слова OPTIONAL. Это позволяет получить непустой результат в том случае, если понятие объявлено и без их использования, и поэтому результат не будет содержать их.

Для иллюстрации рассмотрим пример расширения SPARQL-запроса о понятии «Маршрутизатор». Пусть данное понятие было определено с использованием CDP «Объект-Роль» (Objectrole), «Роль-Участник» (Participant Role), «Роль-Задача» (Role Task), «Виды сущностей» (Type of Entities). Предположим, что из предложенных на 1 шаге квалификационных вопросов для данных CDP пользователь выбрал 1 вопрос: «Какой объект играет данную роль?» паттерна «Объект-Роль».

На 2 шаге данный запрос представляется в виде SPARQL-запроса:

```
PREFIX objRole: <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/objectrole.owl#>
SELECT ?obj
WHERE {
  routerRoleIRI objRole:isRoleOf ?obj.
  ?obj rdf:type objRole:Object.
}
```

Выполнения данного запроса позволит получить объекты (переменная ?obj), которые выполняют роль «Маршрутизатор» (идентификатор routerRoleIRI).

Далее на 3-ем шаге определяются варианты расширения запроса путем формирования множества CDP, связанных с «Объект-Роль» через понятие «Объект», так как именно этому понятию соответствует переменная ?obj из секции SELECT.

На 4-м шаге пользователю предъявляются квалификационные вопросы, которые соответствуют CDP с предыдущего шага. Выбрав нужные из них, пользователь сможет получить больше информации о найденном объекте, выполняющему роль «Маршрутизатор». Предположим, что он выбрал целевой вопрос для CDP «Роль-Участник» «В каком событии объект выполняет данную роль?».

На 5-м шаге в запрос будет добавлена новая переменная – ?event, соответствующая искомому событию и набор шаблонов триплетов, позволяющих определить значение этой переменной:

```
PREFIX objRole: <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/objectrole.owl#>
PREFIX participantRole: <http://www.ontology.se/odp/content/owl/ParticipantRole#>
SELECT ?obj ?event
WHERE {
  routerRoleIRI objRole:isRoleOf ?obj.
  ?obj rdf:type objRole:Object.
  OPTIONAL { routerRoleIRI participantRole:roleIncludedIn ?participantRole.
  ?obj participantRole:objectIncludedIn ?participantRole.
  ?participantRole participantRole:participatingInEvent ?event. } }
```

На 6-м шаге запрос может быть далее расширен на основе CDP «Выполнение задачи», связанного с «Роль-Участник» через понятие «Действие» (Action), которое является наследником «События» (Event). В этом случае пользователь может получить ответ на целевой вопрос «Какая задача решается в результате выполнения действия?», а SPARQL-запрос примет вид:

```
PREFIX objRole: <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/objectrole.owl#>
PREFIX participantRole: <http://www.ontology.se/odp/content/owl/ParticipantRole#>
PREFIX taskExec: <http://www.ontologydesignpatterns.org/cp/owl/taskexecution.owl#>
SELECT ?obj ?event ?task
WHERE {
  routerRoleIRI objRole:isRoleOf ?obj.
  ?obj rdf:type objRole:Object.
  OPTIONAL { routerRoleIRI participantRole:roleIncludedIn ?participantRole.
  ?obj participantRole:objectIncludedIn ?participantRole.
  ?participantRole participantRole:participatingInEvent ?event. }
  OPTIONAL { ?event taskExec:executesTask ?task } }
```

Таким образом, наличие отношений между CDP позволяет формировать запрос с необходимой пользователю детализацией, оперируя при этом их квалификационными вопросами на естественном языке и не требуя знания синтаксиса SPARQL и структуры онтологии.

### **ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПАТТЕРНАМИ**

В работах [6, 7] был рассмотрен вопрос визуализации понятий онтологии на основе специальных структур – когнитивных фреймов (КФ), формируемых для понятий онтологии. Под КФ в общем случае понимается визуализированный фрагмент онтологии, позволяющий передать человеку (эксперту) знания о некотором целевом понятии. По своей функции когнитивный фрейм близок к понятию «точка зрения» [8], однако в отличие от последнего он включает помимо набора фактов о понятии еще и соответствующий ему визуальный образ, формируемый с учетом психологических особенностей восприятия и структурирования человеком информации. Когнитивный фрейм описывается следующим образом:

$$KF(t) = \langle CT, VS \rangle, \quad (1)$$

где  $t$  – целевое понятие когнитивного фрейма;  $CT$  – содержание фрейма – некоторый фрагмент онтологии, отражающих смысловое значение целевого понятия;  $VS$  – визуальный образ, формируемый на основе содержания.

В работе [9] предложена процедура извлечения из онтологий реализаций CDP для последующего формирования из них содержания КФ:

$$CT_t = \{P_k\}, \quad (2)$$

где  $P_k$  –  $k$ -реализация CDP для целевого КФ понятия  $t$  (здесь и далее под реализацией CDP будет подразумеваться фрагмент онтологии, созданный ее разработчиком на основе данного CDP для определения некоторого понятия).

Таким образом, визуализация КФ будет состоять из множества образов для реализаций CDP и/или их комбинаций, присутствующих в содержании:

$$VS_t = \{VP_i(P_1, \dots, P_k)\}, \quad (3)$$

где  $VP_i(P_k)$  –  $i$ -визуальный образ для реализаций паттернов  $P_k \in CT_t$ .

Одним из требований к КФ является его компактность. Оно основывается на ограничении Миллера, указывающем на возможность хранения в кратковременной памяти человека не более чем 7-9 объектов. Данное требование определяет допустимый предел числа компонентов при визуальном представлении КФ пользователю. Непревышение этого порога позволяет человеку одновременно воспринять передаваемую визуализацией идею без дополнительных мыслительных операций по разбиению большего количества компонентов на группы.

Однако в случае описания понятия посредством нескольких связанных и/или составных CDP, основанных на других паттернах, результирующие образы усложняются из-за представления в них нескольких точек зрения на понятие, а также нарушения требования компактности КФ. Это может вызвать большие временные затраты пользователя на его интерпретацию и повышает вероятность искажения смысла понятия.

Для решения данной проблемы предлагается учитывать отношения между CDP при формировании соответствующих им визуальных образов. Это позволит задать их границы, определив множество реализаций CDP, которые могут/должны быть представлены совместно, а также установить порядок их представления пользователю. Предлагается в качестве обязательных компонентов визуального образа для реализации некоторого CDP использовать визуальные образы реализаций его паттернов-частей, а в качестве опциональных компонентов, позволяющих детализировать образ, – визуальные образы реализаций CDP, специализирующих исходный CDP или его паттерны-части.

Включение реализаций паттернов-частей обусловлено необходимостью целостно передать смысл, задаваемый составным CDP, который заключается как раз в определении смысловых отношений между паттернами-частями. Например, составной CDP «Роль участника» (Participant Role), включающий CDP «Участие» (Participation) как часть, позволяет указать на роль объекта, которая проявляется при его участии в некотором событии. Заметим также, что некоторое понятие может быть определено с использованием двух CDP, один из которых является частью другого, но при этом их реализации заданы отдельно. Например, понятие «ЭВМ» может быть определено с помощью CDP «Роль участника», в соответствующей реализации которого для него будет определена роль «Маршрутизатор» в действии «Определение маршрута». Одновременно это же понятие (ЭВМ) может быть определено с помощью отдельной реализации паттерна «Объект-роль» (Objectrole), как носитель роли «Обработчик данных». В этом случае, несмотря на то, что CDP «Объект-роль» является частью CDP «Роль участника», визуальный образ его реализации для понятия «ЭВМ» не становится частью образа для реализации CDP «Роль участника», так последняя изначально содержит другую реализацию этого CDP. Данное условие позволяет избежать искажения смысла паттерна, который указывает на выполнение роли объектом именно в конкретном событии.

Включение реализаций CDP, специализирующих исходный паттерн и/или его части, дает возможность детализировать визуальный образ для получения более подробной

информации пользователем. Обязательным условием при этом является необходимость наличия в реализации специализирующего CDP тех же понятий и/или их наследников, что и в реализации специализируемого. В противном случае это может привести к некорректному представлению в одном визуальном образе несвязных понятий предметной области, представленных на основе связанных CDP.

Включение в образ CDP реализаций соотнесенных с ним паттернов производится в том случае, если они не противоречат его смыслу. При этом необходимо также учитывать количество содержащихся в них элементов для того, чтобы не «перегрузить» формируемый образ. Таким образом, возможность добавления для некоторого CDP и способ его включения в комбинированный визуальный образ должны быть определены его разработчиком при установлении отношения «соотноситься» с имеющимися CDP. Например, CDP «Часть» (PartOf), соотнесенный с CDP «Объект-Роль» (Objectrole), может быть добавлен в визуальный образ последнего, если задает части объекта, выполняющего некоторую роль. Заметим, что обычно простые CDP, то есть не включающие паттернов-частей, могут быть представлены в составе визуальных образов для других CDP в том случае, если последние уже не содержат их или их специализаций в качестве частей.

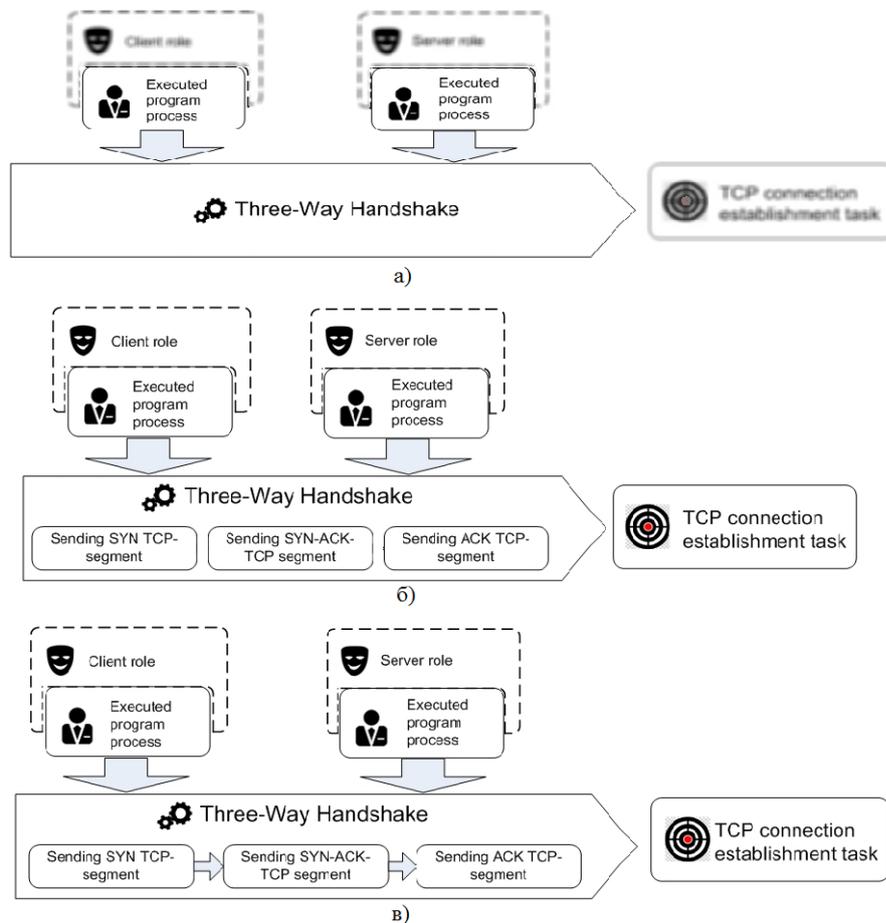
Рассмотренные правила позволяют распределить имеющиеся в содержании КФ реализации CDP по отдельным множествам, каждое из которых представляется в виде отдельного визуального образа. При этом в таких множествах выделяются реализации CDP, составляющие основу образа и дополняющие его реализации, которые могут быть опционально представлены пользователю. В итоге визуальный образ для реализаций некоторого CDP будет иметь следующий вид:

$$VP(P_k) = \langle MN, OP \rangle, \quad (4)$$

где  $P_k \in CT_i$ ,  $MN = \{VP(P_1) \dots VP(P_m)\}$  –  $P_i \in CT_i \forall i, i=1 \dots m$ ,  $P_i$  – реализация CDP, который является частью CDP, представленного реализацией  $P_k$ ;  $OP = \{VP(O_1) \dots VP(O_n)\}$  –  $P_j \in CT_i \forall j, j=1 \dots m$ ,  $P_j$  – реализация CDP, который соотнесен или специализирует CDP, представленного реализацией  $P_k$ , или его части и при этом не искажает его смысл при их совместной визуализации.

В качестве примера рассмотрим формирование образа для понятия «Трёхфазовое квитирование», представляющего процесс установления сетевого TCP соединения (рис. 2).

Данное понятие можно определить посредством CDP «Решение задачи» (Task Execution), задав участников, их роли и решаемые в рамках данного процесса задачи. Наряду с этим можно использовать соотнесенные с ним CDP «Последовательность» (Sequence) и «Часть» (PartOf), для указания упорядоченных этапов процесса. В этом случае реализация CDP «Решение задачи» наряду с ее частями (реализациями паттернов «Агент-Роль» (AgentRole), «Участие» (Participation), «Роль-Задача» (Role task)) формируют исходный визуальный образ. Реализации CDP «Последовательность» и «Часть» добавляются в качестве опциональных компонентов, так как не противоречат смыслу исходного CDP, а лишь конкретизируют понятие «Трёхфазовое квитирование», представляя его упорядоченные части. В результате пользователь может варьировать детализацию визуального образа с целью постепенного получения новых знаний о понятии. При этом обязательные компоненты следует представлять совместно, чтобы не нарушать смысл CDP «Решение задачи» и одновременно обеспечивать пользователю возможность посредством интерфейса средства визуализации «выделять» отдельные фрагменты, соответствующие реализациям паттернов-частей (рис. 2(a)). Необязательные компоненты можно изначально скрыть, предоставив пользователю возможность впоследствии отобразить их.



**Рисунок 2 – Визуализация образа для понятия «Трехфазовое квитирование» (Three-Way Handshake): а) – выделение фрагмента паттерна-части «Участие» (Participation); б) – комбинирование реализаций CDP «Решение задачи» и «Часть»; в) – комбинирование реализаций CDP «Решение задачи», «Часть» и «Последовательность»)**

Таким образом, использование при формировании структуры образа КФ отношений между CDP позволяет регулировать набор отображаемых визуальных элементов, так что это способствует правильной интерпретации смысла сложной визуализации пользователем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе была рассмотрена проблема использования комбинаций CDP при работе пользователя с онтологиями предметных областей. Были предложены правила установления отношений между CDP, с учетом которых был произведен пересмотр и дополнение существующих отношений, заданных в каталоге CDP. На их основе были предложены процедуры расширения SPARQL-запросов к онтологии, а также формирования сложных визуальных образов реализаций CDP, дающих возможность пользователю управлять их детализацией.

Таким образом, можно отметить, что установление и использование отношений между CDP открывает новые возможности для оперирования онтологиями, разработанными на их основе. Тем не менее на сегодняшний их потенциал раскрыт еще не полностью. На следующем этапе исследования планируется рассмотреть проблему подбора CDP или их синтеза из связанных между собой CDP для решения задач пользователя и разработать программный инструмент поддержки разработчиков и пользователей онтологий, основанных на паттернах.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант 15-07-03321.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gangemi A. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content // Proceedings of the Fourth International Semantic Web Conference, Galway, Ireland, 2005. – P. 262-276. – Springer.
2. Ломов П.А. Применение паттернов онтологического проектирования для создания и использования онтологий в рамках интегрированного пространства знаний // Научный журнал «Онтология проектирования», 2015. – Том 5. – № 2(16). – Самара: Новая техника, 2012. – С. 233-245.
3. Blomqvist E., Gangemi A., Presutti V.: Experiments on Pattern-Based Ontology Design. – In: K-CAP 2009, ACM (2009).
4. Ontology design patterns portal [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ontologydesignpatterns.org>.
5. Blomqvist E., Presutti V., Daga E., Gangemi A. Experimenting with eXtreme Design. In proceedings of EKAW 2010, LNCS 6317. Springer. Berlin/Heidelberg/New York. – P. 120-134.
6. Lomov P., Shishaev M. Creating Cognitive Frames Based on Ontology Design Patterns for Ontology Visualization // Knowledge Engineering and the Semantic Web. – Vol. 468/ – Communications in Computer and Information Science, Springer International Publishing, 2014. – P. 90-104.
7. Ломов П.А., Шишаев М.Г. Формирование когнитивных фреймов на основе онтологических паттернов для визуализации онтологий // Информационные системы и технологии, 2015. – № 6(92). – С. 12-22.
8. Acker L., Porter B. Extracting viewpoints from knowledge bases // In Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence, 1994. – P. 547-552.
9. Lomov P., Shishaev M. Ontology Design Pattern Extractions for Ontology Visualization // Proceedings of the 25th International Conference on Information Modelling and Knowledge Bases (EJC 2015). – University of Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, 2015. – P. 168-176.

### Ломов Павел Андреевич

ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского НЦ РАН, г. Апатиты

Кандидат технических наук, научный сотрудник

Тел.: 8 952 296 76 33

Email: lomov@iimm.ru

---

P.A. LOMOV (*Candidate of Engineering Science, Research Associate*)  
*Institute of Informatics and Mathematical Modeling*  
*Process Kola Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Apatity'*

## USING ONOTOGY CONTENT PATTERN RELATION DURING WORK WITH ONTOLOGIES

*The article discusses the use of ontological content patterns and the establishment of relations between them. The application of these relations during querying ontologies and visualization of their contents are also considered.*

**Keywords:** *ontology; visualization; ontology design patterns.*

## BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Gangemi A. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content // Proceedings of the Fourth International Semantic Web Conference, Galway, Ireland, 2005. – P. 262-276. – Springer.
2. Lomov P.A. Primenenie patternov ontologicheskogo proektirovaniya dlya sozdaniya i ispol'zovaniya ontologij v ramkax integrirovannogo prostranstva znaniy // Nauchny'j zhurnal «Ontologiya proektirovaniya», 2015. – Том 5. – № 2(16). – Samara: Novaya texnika, 2012. – S. 233-245.
3. Blomqvist E., Gangemi A., Presutti V.: Experiments on Pattern-Based Ontology Design. – In: K-CAP 2009, ACM (2009).
4. Ontology design patterns portal [E'lektronnyj resurs]. – URL: <http://www.ontologydesignpatterns.org>.
5. Blomqvist E., Presutti V., Daga E., Gangemi A. Experimenting with eXtreme Design. In proceedings of EKAW 2010, LNCS 6317. Springer. Berlin/Heidelberg/New York. – P. 120-134.

6. Lomov P., Shishaev M. Creating Cognitive Frames Based on Ontology Design Patterns for Ontology Visualization // Knowledge Engineering and the Semantic Web. – Vol. 468/ – Communications in Computer and Information Science, Springer International Publishing, 2014. – P. 90-104.
7. Lomov P.A., Shishaev M.G. Formirovanie kognitivny'x frejmov na osnove ontologicheskix patternov dlya vizualizacii ontologij // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2015. – № 6(92). – S. 12-22.
8. Acker L., Porter B. Extracting viewpoints from knowledge bases // In Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence, 1994. – P. 547-552.
9. Lomov P., Shishaev M. Ontology Design Pattern Extractions for Ontology Visualization // Proceedings of the 25th International Conference on Information Modelling and Knowledge Bases (EJC 2015). – University of Maribor, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, 2015. – P. 168-176.

УДК 04.04

А.И. ЯКИМОВ, О.М. ДЕМИДЕНКО, Н.Н. ИВКИНА

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

*Проведен анализ методов моделирования бизнес-процессов в ERP-системах и предложен метод распределенного построения имитационных моделей с применением информационных технологий, используемых в корпоративных информационных системах промышленных предприятий, от получения исходных данных до принятия решений. Описан разработанный программно-технологический комплекс имитации сложных систем (ПТКИ) BelSim 2, который реализует предложенный метод, используя следующие информационные технологии: IDEF0, UML, C++, ADO, Statistica, MPI, Solver MS Excel.*

*Ключевые слова:* имитационное моделирование; информационные технологии; метод распределенного построения.

### ВВЕДЕНИЕ

Основными требованиями к подсистемам имитационного моделирования являются: чтение и запись данных из различных источников; предварительная обработка исходных данных; планирование, проведение и обработка результатов имитационных экспериментов; построение отчетов и графиков. Использование имитационных моделей в составе системы управления промышленным предприятием дополнительно требует создания и выполнения в автоматическом режиме сложных нелинейных сценариев имитационных экспериментов, включающих все этапы от получения исходных данных до принятия решений [1].

Разработанный принцип декомпозиции информационных технологий в комплексной информационной ERP-системе позволяет предложить новый распределенный метод построения и эксплуатации имитационных моделей, в отличие от интегрированных систем имитационного моделирования.

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ERP-СИСТЕМАХ

Этапы составления содержательного описания, построения концептуальной и формальной моделей в задачах имитационного моделирования до сих пор являются слабо формализованными. В то же время разработан ряд стандартов моделирования бизнес-процессов: примером может служить семейство стандартов IDEF, RUP (компания Rational Software), Catalysis (компания Computer Associates) [1]. Отраслевыми стандартами являются модели, разрабатываемые государственными и международными общественными организациями (рекомендации ISA, APICS, ISO, TM Forum и др.). При этом целями моделирования являются реинжиниринг бизнес-процессов, автоматизация бизнес-процессов, системные исследования бизнес-процессов и др. Стандарты поддерживаются соответствующими CASE-средствами: BPWin, ErWin, S-Designer, Power Designer, Rational Rose, Design/IDEF, IDEF0/EMTool (белорусско-канадская компания «Ориентсофт») и т.д. На многих промышленных предприятиях применение стандартов группы IDEF является фактическим условием для получения статуса соответствия системы управления качеством требованиям международных стандартов ISO9000, ISO9001.

Наиболее часто используемая IDEF0 методология представляет собой формализованный подход к созданию функциональных моделей – структурных схем изучаемого процесса или системы. Схемы строятся по иерархическому принципу с необходимой степенью подробности и помогают разобраться в том, что происходит в изучаемой системе или процессе, какие функции выполняются и в какие отношения вступают между собой и с окружающей средой ее функциональные блоки. По терминологии, принятой в исследовании процессов, IDEF0-модели относятся к классу концептуальных и

являются основой построения имитационных и математических моделей [2]. Технология функционального моделирования систем на основе методологии IDEF0 отработана достаточно хорошо и может быть использована на первых этапах построения имитационной модели в качестве удобного средства представления вербальной и концептуальной модели системы.

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ**

При моделировании поведения проектируемой или анализируемой системы возникает необходимость не только представить процесс изменения ее состояний, но и детализировать особенности алгоритмической и логической реализации выполняемых системой операций. Традиционно для этой цели использовались блок-схемы или структурные схемы алгоритмов. Каждая такая схема акцентирует внимание на последовательности выполнения определенных действий или элементарных операций, которые в совокупности приводят к получению желаемого результата.

Наиболее эффективным средством для этого является UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования), который выполняет функции графического описания для объектного моделирования при разработке программного обеспечения. Он обеспечивает коммуникации между заинтересованными сторонами при обсуждении программного проекта с более простым представлением системы. Конструктивное использование языка UML основывается на понимании общих принципов моделирования сложных систем и особенностей процесса объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООАП) в частности.

UML обладает возможностью реализации своих конструкций на языках программирования, поддерживающих концепцию объектно-ориентированного программирования (ООП), таких, как, например, C++, Java, Object Pascal. Именно это свойство UML делает его современным средством решения многих задач моделирования сложных систем. Для программной поддержки конструкций языка UML разработаны специальные инструментальные CASE-средства: IBM Rational Rose; Borland Together; Genteware Poseidon; Microsoft Visio; Telelogic TAU G2; Enterprise Architect (Sparx Systems).

Для моделирования процесса выполнения операций в UML используются так называемые диаграммы деятельности. В контексте UML деятельность представляет собой некоторую совокупность отдельных вычислений. Графически диаграмма деятельности представляется в форме графа деятельности, вершинами которого являются состояния действия, а дугами – переходы от одного состояния действия к другому. Диаграммы деятельности играют важную роль в понимании процессов реализации алгоритмов выполнения операций классов и потоков управления в моделируемой системе. Используемые для этой цели традиционные блок-схемы алгоритмов обладают серьезными ограничениями в представлении параллельных процессов и их синхронизации [3].

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОСТУПА К ДАННЫМ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Универсальный механизм доступа к данным (Universal Data Access) представляет стратегию обеспечения доступа к любому типу информации предприятия. Он обеспечивает высокопроизводительный доступ к различным источникам информации с помощью единой модели доступа к данным (включая реляционные и нереляционные данные), в том числе к данным, хранящимся на мэйнфреймах, данным электронной почты и файловой системы, текстовым, графическим и географическим данным и др. Для многих современных приложений, использующих данные, характерно подобное разнообразие их источников.

Можно указать следующие наиболее популярные универсальные механизмы доступа к данным: Java Database Connectivity (JDBC); Open Database Connectivity (ODBC); OLE DB/ActiveX Data Objects (ADO).

JDBC – это интерфейс доступа к базам данных, входящий в состав платформы Java. Он позволяет использовать драйверы, написанные на языке Java и работающие на уровне API (поддерживаются СУБД Oracle, Sybase, Informix, DB2 и т.п.), и JDBC-ODBC Bridge для использования существующих ODBC-драйверов.

ODBC (Open Database Connectivity) – это набор интерфейсов для доступа к реляционным данным, удовлетворяющий стандарту CLI (Call Level Interface) ANSI/ISO, разработанный компанией Microsoft. Для доступа к данным конкретной СУБД с помощью ODBC, кроме собственно клиентской части этой СУБД, нужен ODBC Administrator (приложение, позволяющее определить, какие источники данных доступны для данного компьютера с помощью ODBC, и описать новые источники данных), и ODBC-драйвер для доступа к этой СУБД.

Microsoft ActiveX Data Objects (ADO) – это набор библиотек, содержащих COM-объекты, реализующие прикладной программный интерфейс для доступа к данным и используемые в клиентских приложениях. ADO базируется на библиотеках OLE DB, предоставляющих низкоуровневый интерфейс для доступа к данным. OLE DB предоставляет доступ к данным с помощью COM-интерфейсов. Основное назначение ADO – обеспечение простого универсального механизма доступа к данным.

OLE DB – это низкоуровневый интерфейс для доступа к данным. ADO использует OLE DB, но можно использовать OLE DB и напрямую, минуя ADO;

ADO.NET – это следующий шаг в эволюции универсальных механизмов доступа к данным, ориентированный на поддержку распределенных приложений, в том числе использующих мобильные устройства в качестве клиентских рабочих мест. Типичная модель подобного приложения основана на применении кэшируемых наборов данных, представляющих собой хранящуюся в оперативной памяти базу данных, содержащую таблицы, связи между ними, индексы, ограничения и т.п. В ADO.NET (по сравнению с ADO) поддержка подобных наборов данных существенно расширена.

ADO Multi-Dimensional Extensions (ADOMD) – это набор объектов, позволяющих использовать многомерные данные в ADO-приложениях. Такие данные управляются OLAP-серверами (OLAP, Online Analytical Processing), такими, как Microsoft OLAP Server, входящий в комплект поставки Microsoft SQL Server 7.0 (или Analytical Services в Microsoft SQL Server 2000). OLAP-серверы широко применяются в системах принятия решений, где требуется статистический анализ больших объемов данных [4].

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

Одним из обязательных этапов любого научного исследования является статистический анализ данных. Продолжительное время анализ статистических данных был делом специалистов, так как это требовало серьезной предварительной подготовки. С появлением и совершенствованием современных программ обработки данных статистическая обработка поднялась на новый уровень. Теперь исследователь может и не иметь математической подготовки. Достаточно оперировать статистическими понятиями и, самое главное, правильно выбрать метод анализа. Все осуществимо благодаря компьютеру и новейшим программам.

Одним из наиболее часто используемых методов остается MS Excel – это электронная таблица с достаточно мощными математическими возможностями, где некоторые статистические функции являются просто дополнительными встроенными формулами. В MS Excel невозможно построить качественные научные графики, однако MS Excel хорошо подходит для накопления данных, промежуточного преобразования, предварительных статистических результатов, для построения некоторых видов диаграмм. Существует макрос-дополнение XLSTAT-Pro (<http://www.xlstat.com/>) для MS Excel который включает в себя более 50 статистических функций. Наиболее часто используемыми среди них являются следующие:

STADIA – программа российских разработчиков. Включает в себя все необходимые статистические функции (<http://www.protein.bio.msu.ru/~akula/index.htm>).

SPSS (Statistical Package for Social Science) – самый часто используемый пакет статистической обработки данных (<http://www.spss.com/>). Отличается гибкостью, мощностью и применим для всех видов статистических расчетов.

STATA – профессиональный статистический программный пакет (<http://www.stata.com/>). Один из самых популярных в образовательных и научных учреждениях США наряду с SPSS.

STATISTICA – пакет программ фирмы StatSoft Inc. (США) (<http://www.statsoft.com/>). STATISTICA включает большое количество методов статистического анализа (более 250 встроенных функций), объединенных следующими специализированными статистическими модулями: основные статистики и таблицы, непараметрическая статистика, дисперсионный анализ, множественная регрессия, нелинейное оценивание, анализ временных рядов и прогнозирование, кластерный анализ, факторный анализ, дискриминантный функциональный анализ и др.

JMP – один из мировых лидеров в анализе данных. Развивает статистический пакет SAS Institute (<http://www.jmp.com/>), который выкупил в конце 2002 года известную статистическую программу StatView.

SYSTAT – статистическая система для персональных компьютеров (<http://systat.com/>). Обладает интуитивно понятным интерфейсом. Компания Systat Software также разрабатывает SigmaStat и SigmaPlot, которые являются соответственно программой статистической обработки и программой построения диаграмм. При совместной работе становятся единым пакетом для статистической обработки и визуализации данных.

NCSS – программа, рассчитанная на непрофессионалов в области статистической обработки (<http://www.ncss.com/>).

MINITAB 14 – программный пакет, имеющий хороший интерфейс пользователя, возможности по визуализации результатов работы (<http://www.minitab.com/>).

STATGRAPHICS PLUS – статистическая программа, содержащая более 250 статистических функций, генерирует понятные, настраиваемые отчеты (<http://www.statgraphics.com/>).

На этапе эксплуатации имитационной модели при статистической обработке данных для извлечения дополнительной информации могут быть использованы и современные подходы. Перспективным является, например, анализ сингулярного спектра последовательностей числовых данных [5].

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ПРОГРАММНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Стандартные документы, которые могут содержать текст и ссылки на графические изображения и внешние ресурсы; структурированные документы или записи, такие, как формы HTML; объекты, содержащие данные и методы, например, объекты Java или элементы ActiveX; записи баз данных, которые могут быть представлены на web-странице, и другие документы можно создавать при помощи XML (Exchange Message Language), для отображения содержания применяя HTML и Dynamic HTML (DHTML). XML также позволяет переназначать, переопределять и отображать содержание из одного источника при помощи других механизмов отображения. Например, хранить единую базу данных на сервере и отображать выделенные данные на нескольких разных устройствах.

Принципиально важным свойством языка XML, обеспечивающим новые функциональные возможности среды web, является его расширяемость. Достижение расширяемости XML основано на двух факторах. Прежде всего, он представляет собой язык метауровня, подмножество известного языка SGML, а не конкретный язык, подобный HTML. Благодаря этому XML выполняет функции языка определения данных. Используя его синтаксис, можно определять различные типы элементов, экземпляры которых образуют

содержание конкретных XML-документов, и вводить тем самым адекватный потребностям набор тегов разметки документов. Вторым фактором – это использование пространств имен – именованных множеств символов, используемых в качестве имен типов элементов и атрибутов элементов XML-документов. Пространство имен позволяет также явным или неявным образом ассоциировать нужную семантику с именуемыми элементами документов, их атрибутами и допустимыми для них значениями.

Хотя язык XML и базирующаяся на нем платформа стандартов W3C создавались как средство представления информационных ресурсов web, они тем не менее уже находят значительно более широкие применения в различных областях информационных технологий.

При оценке перспектив языка XML нельзя также не учитывать, что он начинает играть существенную роль в других широко распространенных технологиях – CASE-технологиях, технологиях хранилищ данных, потоков работ, в технологиях баз данных, становится основой интеграции информационных ресурсов web и реляционных баз данных. Предпринимаются также шаги, направленные на интеграцию XML-среды с объектными средами и имитационным моделированием [6].

### **ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (ООП)**

ООП – это набор концепций и идей, позволяющих осмыслить задачу, стоящую при разработке компьютерной программы, а затем найти путь к ее решению более понятным, а значит, и более эффективным способом. Ключом к пониманию объектно-ориентированных систем является знание различий между классами, объектами и интерфейсами, а также умение применить эти концепции для получения эффективных решений. Качество объектно-ориентированных решений зависит и от разумной реализации трех принципов ООП: инкапсуляции, наследования и полиморфизма.

В ООП наследованием называют возможность при описании класса указывать на его происхождение от другого класса, что позволяет создать новый класс, в основу которого положен существующий. В полученный таким образом класс можно внести свои изменения, а затем создать новые объекты данного типа. Полиморфизм – это функциональная возможность, позволяющая старому коду вызывать новый. Это свойство ООП дает возможность расширять и совершенствовать программную систему, не затрагивая существующий код.

В рамках рассматриваемых проблем наиболее эффективными и часто используемыми являются: C#, C++, Java, Delphi, Eiffel, Simula, D (язык программирования), Io, Objective-C, Object Pascal, VB.NET, Visual DataFlex, Perl, Php, PowerBuilder, Python, Scala, ActionScript 3.0, JavaScript, JScript.NET, Ruby, Smalltalk, Ada, Xbase++, X++, Vala.

Не обязательно, чтобы один язык был лучше другого, так как они могут обладать различными (непересекающимися) возможностями. Здесь важно не то, какой гаммой средств обладает язык, а насколько они достаточны для поддержания желаемого стиля программирования в области приложений [7].

### **ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ**

Интегрированная среда разработки программного обеспечения (англ. IDE, Integrated Development Environment) – система программных средств, используемая программистами для разработки программного обеспечения. Обычно среда разработки включает в себя текстовый редактор, компилятор и/или интерпретатор, средства автоматизации сборки и отладчик. Иногда также содержит систему управления версиями и разнообразные инструменты для упрощения конструирования графического интерфейса пользователя. Многие современные среды разработки также включают браузер классов, инспектор объектов и диаграмму иерархии классов – для использования при объектно-ориентированной разработке ПО. Хотя и существуют среды разработки, предназначенные для нескольких языков, такие, как Eclipse или Microsoft Visual Studio, обычно среда разработки

предназначается для одного определенного языка программирования – как, например, Visual Basic. Примеры сред разработки – Sun Studio, Turbo Pascal, Borland C++, GNU toolchain, DrPython, Borland Delphi, Dev-C++, Lazarus, KDevelop, QDevelop.

Eclipse – это расширяемая, открытая интегрированная среда разработки. Совместно с JDT платформа Eclipse предоставляют множество различных возможностей: подсветка синтаксиса в редакторе, компиляция кода, отладчик уровня исходного кода, навигатор по классам, файловый менеджер и менеджер проектов, интерфейсы для стандартных контролирующих систем исходного кода, рефакторинг кода (<http://www.refactoring.com/>), автоматическое обновление и сборка кода (посредством Update Manager), список задач, поддержка возможности тестирования модулей с помощью JUnit (<http://www.junit.org/>), а также интеграция с инструментом сборки приложений Jakarta Ant (<http://jakarta.apache.org/ant/index.html>). Особенность Eclipse – это абсолютная нейтральность относительно платформы и языка программирования. На сегодняшний день существуют реализации следующих популярных языков программирования: Java, C/C++, Cobol, Python, Eiffel, PHP, Ruby и C# [8].

Интегрированная среда разработки приложений Geany имеет следующую функциональность: редактор с подсветкой синтаксиса основных языков (C/C++, Java, Perl, PHP, XML); список открытых файлов (вкладок) для редактирования; поддержка разных типов окончания строки и кодировок; автоматическое дополнение в XML-тегах, подсветка синтаксиса множества языков программирования, скриптинга, разметки и даже запросов: ASM, C, C++, CAML, CSS, D, Diff, Fortran, Haskell, X(HTML), Java(Script), LaTeX, Lua, Make, Pascal, Perl, PHP, Python, Ruby, Sh, SQL, TCL, XML и др.; списки символов функций, классов, объектов; поддержка построения проекта; поддержка встроенных и созданных пользователем шаблонов; менеджер проектов; интерфейс для написания модулей к Geany [9].

Среда разработки программного обеспечения NetBeans IDE – бесплатная интегрированная среда разработки приложений (IDE) на языке программирования Java, Ruby и ряде других. Проект NetBeans IDE поддерживается и спонсируется фирмой Sun Microsystems, однако разработка NetBeans ведется независимо сообществом разработчиков (NetBeans Community) и компанией NetBeans Org.

По качеству и возможностям последние версии NetBeans IDE не уступают лучшим коммерческим (платным) интегрированным средам разработки для языка Java, таким, как IntelliJ IDEA, поддерживая рефакторинг, профилирование, выделение синтаксических конструкций цветом, автодополнение набираемых конструкций на лету, множество predefined шаблонов кода и др. В версии NetBeans IDE 6.0 декларируется поддержка UML. NetBeans IDE поддерживает плагины, позволяя разработчикам расширять возможности среды [10].

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Существует несколько технологий реализации параллельных вычислений: (N)UMA, DSM, PVM и MPI – все это различные схемы параллельных вычислений. Некоторые из них уже реализованы аппаратно, другие только в программном, а некоторые – и в том, и в другом виде.

(N)UMA: здесь машины пользуются разделяемым доступом к памяти, в которой они могут выполнять свои программы. В ядре Linux реализована поддержка (N)UMA, позволяющая получать доступ к разным областям памяти. При этом задача ядра – использовать ту память, которая находится ближе к процессору, работающему с ней.

DSM уже реализована не только в программном виде, но и в аппаратном. Основная концепция DSM в организации абстрактного слоя для физически распределенной памяти.

История создания кластеров из обыкновенных персональных компьютеров во многом обязана проекту Parallel Virtual Machine (PVM). PVM работает как пользовательская программа, поэтому никаких изменений в ядро системы вносить не нужно

MPI – это открытая спецификация библиотеки передачи сообщений. Самой популярной реализацией MPI является MPICH. Второй по популярности после MPICH можно назвать LAM, также являющейся свободной реализацией MPI.

MOSIX, openMosix, Kerrighed, OpenSSI – полнофункциональные кластерные среды, встроенные в ядро, автоматически распределяющие задачи между однородными узлами. OpenSSI, openMosix и Kerrighed создают среду единой операционной системы между узлами [11].

Windows Compute Cluster Server 2003 (CCS) разработан для высокотехнологичных приложений, которые требуют кластерных вычислений. Издание разработано для развертывания на множестве компьютеров, которые собираются в кластер для достижения мощностей суперкомпьютера. Каждый кластер на Windows Compute Cluster Server состоит из одного или нескольких управляющих машин, распределяющих задания и нескольких подчиненных машин, выполняющих основную работу. В ноябре 2008 представлен Windows HPC Server 2008, призванный заменить Windows Compute Cluster Server 2003.

Предлагаемый метод распределенного построения имитационных моделей в комплексных информационных ERP-системах состоит в последовательном выполнении следующих этапов.

**Этап 1.** Построение вербальной модели исследуемого объекта системы, например, с помощью концепции SADT и UML-диаграмм анализа уровней. На этом этапе формируется представление о многоуровневости и иерархичности системы. Содержательное описание автоматизируется с применением информационной технологии IDEF0 и CASE-средства BPWin. Имеется возможность распределения задач проектирования на этом этапе и представления содержания описаний в виде диаграмм, что позволяет говорить уже не о содержательном описании, а о построении вербальной модели. Следует также отметить, что уже на этом этапе за счет его автоматизации обеспечивается контроль за выполнением работ и управлением проектом на ЭВМ, что сокращает длительность реализации проекта (рис. 1).

Основным объектом исследования являются  $F_i$ -функции, определяемые на каждом из этапов при построении и эксплуатации имитационной модели ( $i = 1, \dots, N$ , где  $N$  – общее число этапов,  $N = 12$ ). Например, функции  $F_1, \dots, F_3$  на начальных этапах проектирования ИМ могут быть реализованы в автоматизированном режиме с применением информационных технологий *IDEF*, *DFD*, *RUP* и CASE-средств *BPWin*, *ERWin*, *S-Designer* и др.

**Этап 2.** Построение концептуальных моделей каждого уровня детализации путем развития функциональных уровней на основе SADT также с применением информационной технологии IDEF0 и CASE-средства BPWin [12]. На этом этапе формируются представления системы для использования в последующем объектно-ориентированного программирования.

**Этап 3.** Проверка правильности концептуальной модели; если для какого-либо из уровней концептуальная модель не прошла валидацию, имеет место возврат на предыдущий этап. SADT в нотации IDEF0 используется не только для описания системы, но и для изучения и анализа выполняемых ею функций, позволяет документировать результаты исследований, что является необходимым при работе в команде проектировщиков.

**Этап 4.** Разработка формальной модели системы на основе процессного способа имитации путем составления и описания алгоритмов процессов и отношений между ними с использованием UML-технологии. Решаются вопросы синхронизации процессов и их взаимодействия с управляющей программой моделирования, задания начальных условий, организации сбора статистики и окончания имитации. Выбор процессного способа имитации обусловлен его универсальным характером, что становится важным при моделировании различных процессов в системе при сохранении особенностей ее структуры.

**Этап 5.** Построение ИМ системы за счет добавления алгоритмов сбора статистики имитации и построения алгоритмов обработки статистических записей имитации динамики взаимодействия процессов ИМ с применением диаграмм деятельности UML и диаграммы

классов. Программным средством поддержки UML-технологии является CASE-средство Enterprise Architect.

**Этап 6.** Программирование на каждом уровне детализации ИМ с применением методологии объектно-ориентированного программирования. Это позволяет создавать библиотеку моделей объектов системы, расширять их функциональные возможности. Используется интегрированная система разработки Visual Studio.NET. Система моделирования в ней представлена библиотекой шаблонов. Основным является командный режим проектирования с контролем версий и автоматизированной системой управления проектом.

**Этап 7.** Верификация программы имитационной модели, состоящая в проверке правильности функционирования программы замыслу исследователя. Разрабатываются тестовые примеры для каждого из компонентов имитационной модели для тестирования программы модели и для контроля за ходом реализации проекта. На этом этапе используется объектно-ориентированное программирование и интегрированная среда разработки Visual Studio.NET.

**Этап 8.** После успешной верификации программы ИМ и планирования имитационных экспериментов выполняется мониторинг прототипов объекта имитации. Это необходимо для получения исходной информации, реализуется с применением XML-технологии для ввода данных в модель из комплексной информационной системы предприятия и технологии ADO с динамической библиотекой msado15.dll.

**Этап 9.** Испытание ИМ и технологических характеристик программы модели системы с использованием стандартных пакетов статистической обработки данных имитационных экспериментов Statistica, SPSS.

**Этап 10.** Проведение серий имитационных экспериментов согласно процедуре Монте-Карло и усреднение значений откликов при каждой комбинации параметров ИМ. Для сокращения времени проведения экспериментов не менее чем в 2,5 раза используется технология распределения вычислений MPI и средство MPICH [13].

**Этап 11.** Анализ оперативной статистики имитации в пакете Statistica и модификация значений параметров ИМ согласно планам постановки имитационных экспериментов.

**Этап 12.** Формирование матриц решений, выбор критериев оценки рационального состава параметров ИМ и определение оптимального варианта организации моделируемой системы и рационального состава ресурсов предприятия при эксплуатации имитационной модели. На этом этапе используются программные реализации алгоритмов случайного поиска, в частности, генетический алгоритм [15].

Предлагаемый программно-технологический комплекс имитации сложных систем (ПТКИ) BelSim 2 реализует метод распределенного проектирования имитационных моделей с применением рассмотренных информационных технологий. Например, этапы с первого по девятый используют следующие информационные технологии:

$$IDEF0 \xrightarrow{R1} UML \xrightarrow{R2} C++ \xrightarrow{R3} ADO \xrightarrow{R4} STATISTICA$$

На этапах проведения исследований ИМ и ее эксплуатации используются информационные технологии, повышающие их эффективность:

$$STATISTICA \xrightarrow{R5} MPI \xrightarrow{R6} STATISTICA \xrightarrow{R7} Solver MS Excel$$

В преобразованиях (1) и (2)  $R_k$  ( $k = 1, \dots, 7$ ) – отношения между функциями этапов  $F_i$ , реализуемых информационными технологиями и соответствующими CASE-средствами.

Например,  $R1: \{F1, F2, F3\} \rightarrow \{F4, F5\}$ ;  $R2: \{F4, F5\} \rightarrow \{F6, F7\}$  и др. (рис. 1).

Для автоматизации построения и эксплуатации ИМ могут быть предложены и другие варианты. Для выбора наилучшего из них может быть сформулирована оптимизационная задача.

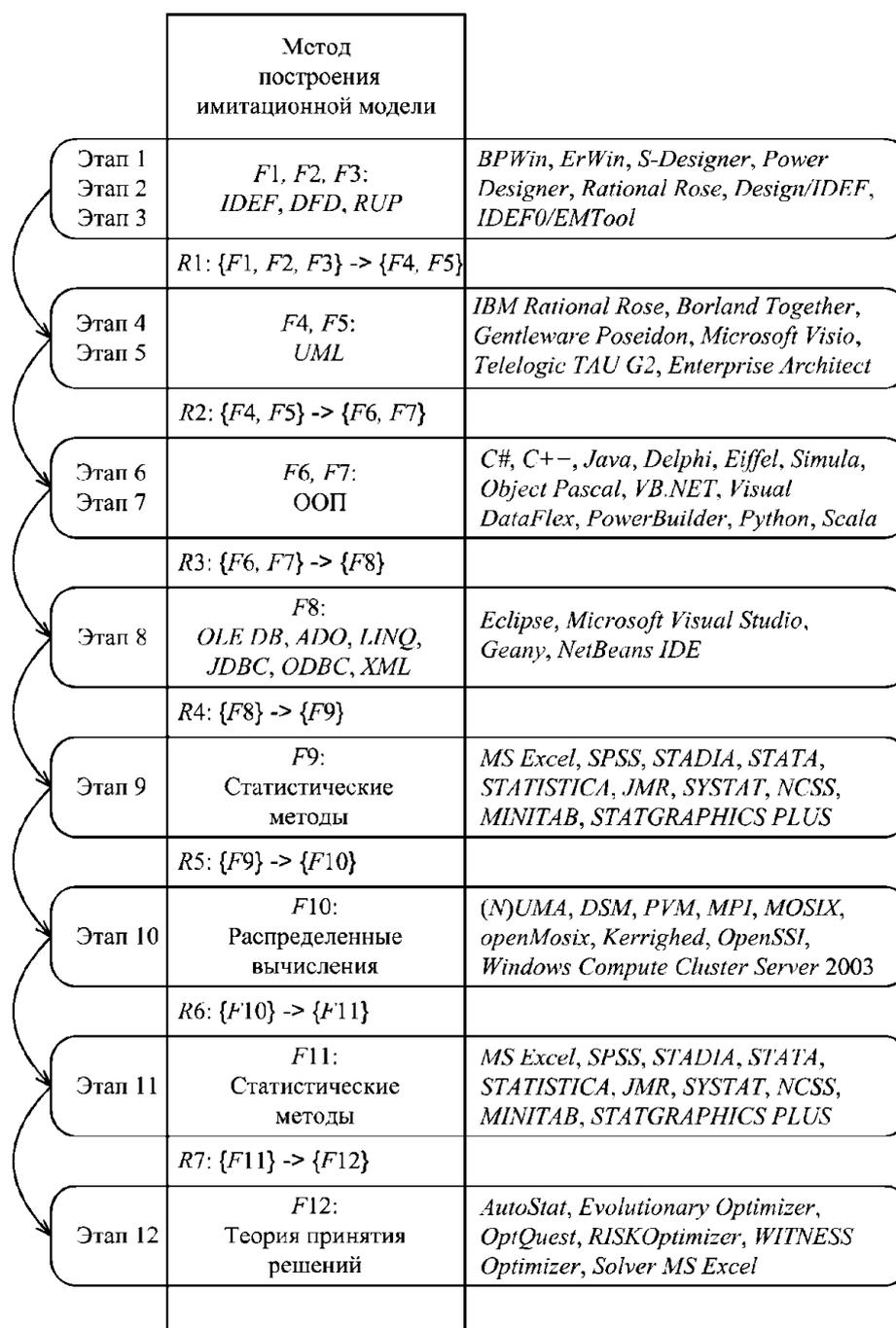


Рисунок 1 – Этапы реализации метода распределенного построения имитационной модели (ИМ)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация отношений  $R_k$  требует разработки оригинальных технологий и средств их поддержки. Например,  $R_1$  представлена технологией построения имитационных моделей на основе IDEF0-диаграмм [12]. На этапе 10 в ПТКИ используется библиотека функций MPI [13],  $R_6$  реализована программным интерфейсом, использующим XML-технологии для ввода результатов прогона ИМ в пакет STATISTICA [14].

Таким образом, предложено концептуальное развитие актуального научного направления, основанного на универсальном подходе к проблеме имитационного моделирования в автоматизированных системах управления промышленным предприятием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якимов А.И., Альховик С.А. Имитационное моделирование в ERP-системах управления. – Мн.: Белорусская наука, 2005. – 198 с.: ил.
2. Рубцов С.В. Опыт использования стандарта IDEF0 // Открытые системы, 2003. – № 1. – С. 53-56.
3. Fowler M. UML distilled: a brief guide to the standard object modeling language. – 3rd ed. – Addison-Wesley Professional, 2003. – 208 p.
4. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. – 6-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1312 с.
5. Якимов Е.А., Демиденко О.М., Якимов А.И. Сингулярный спектральный анализ последовательностей данных на этапе эксплуатации имитационной модели // Вестник Брянского государственного технического университета, 2013. – № 1(37). – С. 95-101.
6. Fishwick P.A. Using XML for Simulation Modeling // Proceedings of 2002 Winter Simulation Conference. – San Diego: IEEE Press, 2002. – P. 616-622.
7. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process. – 4th ed. – Addison-Wesley Professional, 2013. – 336 p.
8. Литвинюк А. Введение в интегрированную среду разработки Eclipse [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.javaportal.ru/java/ide/intro\\_eclipse.html](http://www.javaportal.ru/java/ide/intro_eclipse.html).
9. Geany: интегрированная среда разработки приложений [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.interface.ru/home.asp?artId=21809>.
10. Монахов В. Язык программирования Java и среда NetBeans. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2011. – 704 с.
11. Quesnel F. Sheduling of Large-scale Virtualized Infrastructures: Toward Cooperative Management [Электронный ресурс]. – URL: <https://books.google.by/books>.
12. Альховик С.А., Якимов А.И., Петров Р.В. Технология построения имитационных моделей на основе IDEF0-диаграмм // Математика программных систем: межвузовский сборник научных статей. – Пермь: Пермский государственный университет, 2008. – С. 4-11.
13. Якимов А.И. Модернизация программно-технологического комплекса имитации сложных систем BelSim для организации распределенных вычислений // Информатика, 2008. – № 2(18). – С. 137-142.
14. Якимов А.И. Технология имитационного моделирования систем управления промышленных предприятий: монография. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2010. – 305 с.
15. Аверченков В.И., Казаков П.В. Эволюционное моделирование и его применение. – Брянск: БГТУ, 2009. – 200 с.

**Якимов Анатолий Иванович**

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Беларусь  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления»  
Тел.: +375 (222) 252-447, +375 (44) 716-38-16  
E-mail: [ykm@tut.by](mailto:ykm@tut.by)

**Демиденко Олег Михайлович**

УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь  
Доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе  
Тел.: +375 (232) 603-002, +375 (29) 657-88-63  
E-mail: [demidenko@gsu.by](mailto:demidenko@gsu.by)

**Ивкина Наталия Николаевна**

ФГБОУ ВПО «Брянский технический университет», Брянск  
Аспирант

Тел.: 8 (4832) 58-82-06  
E-mail: [kts@tu-bryansk.ru](mailto:kts@tu-bryansk.ru)

A.I. YaKIMOV (*Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department «Automated control systems»  
Belarusian-Russian University, Mogilev, Belarus*)

O.M. DEMIDENKO (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice Rector for Research*)  
*Francysk Skaryna Homiel State University, Gomel, Belarus*

N.N. IVKINA (*Post-graduate Student*)  
*Bryansk State Technical University, Bryansk*

#### ANALYSIS OF METHODS FOR CONSTRUCTING SIMULATION MODELS OF CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

*The analysis methods of modeling business processes in ERP systems and a proposed distributed method of building simulation models with application of information technologies used in enterprise information systems of industrial enterprises, from receiving the original data before making decisions. This article describes a software-technological complex simulation of complex systems (PTCI) BelSim 2, which implements the proposed method, using the following information technologies: IDEF0, UML, C++, ADO, Statistica, MPI, MS Excel Solver.*

**Keywords:** *imitating modeling; information technology; method distributed build.*

#### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Yakimov A.I., Al'xovik S.A. Imitacionnoe modelirovanie v ERP-sistemax upravleniya. – Mn.: Belorusskaya nauka, 2005. – 198 s.: il.
2. Rubcov S.V. Opy't ispol'zovaniya standarta IDEF0 // Otkry'ty'e sistemy', 2003. – № 1. – S. 53-56.
3. Fowler M. UML distilled: a brief guide to the standard object modeling language. – 3rd ed. – Addison-Wesley Professional, 2003. – 208 p.
4. Troelsen E'. Yazy'k programirovaniya C# 5.0 i platforma .NET 4.5. – 6-e izd. – M.: Vil'yams, 2013. – 1312 s.
5. Yakimov E.A., Demidenko O.M., Yakimov A.I. Singulyarny'j spektral'ny'j analiz posledovatel'nostej danny'x na e'tape e'kspluatacii imitacionnoj modeli // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta, 2013. – № 1(37). – S. 95-101.
6. Fishwick P.A. Using XML for Simulation Modeling // Proceedings of 2002 Winter Simulation Conference. – San Diego: IEEE Press, 2002. – P. 616-622.
7. Weisfeld M. The Object-Oriented Thought Process. – 4th ed. – Addison-Wesley Professional, 2013. – 336 p.
8. Litvinyuk A. Vvedenie v integrirovannuyu sredu razrabotki Eclipse [E'lektronny'j resurs]. – URL: [http://www.javaportal.ru/java/ide/intro\\_eclipse.html](http://www.javaportal.ru/java/ide/intro_eclipse.html).
9. Geany: integrirovannaya sreda razrabotki prilozhenij [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.interface.ru/home.asp?artId=21809>.
10. Monaxov V. Yazy'k programirovaniya Java i sreda NetBeans. – SPb.: «BXV-Peterburg», 2011. – 704 s.
11. Quesnel F. Sheduling of Large-scale Virtualized Infrastructures: Toward Cooperative Management [E'lektronny'j resurs]. – URL: <https://books.google.by/books>.
12. Al'xovik S.A., Yakimov A.I., Petrov R.V. Texnologiya postroeniya imitacionny'x modelej na osnove IDEF0-diagramm // Matematika programmny'x sistem: mezhvuzovskij sbornik nauchny'x statej. – Perm': Permskij gosudarstvenny'j universitet, 2008. – S. 4-11.
13. Yakimov A.I. Modernizaciya programmno-texnologicheskogo kompleksa imitacii slozhny'x sistem BelSim dlya organizacii raspredelenny'x vy'chislenij // Informatika, 2008. – № 2(18). – S. 137-142.
14. Yakimov A.I. Texnologiya imitacionnogo modelirovaniya sistem upravleniya promy'shlenny'x predpriyatij: monografiya. – Mogilev: Belorussko-Rossijskij universitet, 2010. – 305 s.
15. Averchenkov V.I., Kazakov P.V. E'volucionnoe modelirovanie i ego primenenie. – Bryansk: BGTU, 2009. – 200 s.

УДК 004.81; 004.82

П.Ю. БОГАТЫРЁВ, А.В. КОСЬКИН

## СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ИТ-КОМПАНИЯМИ

*В статье рассматривается подход к решению проблемы систематизации разнообразных информационных объектов, генерируемых и используемых в ходе жизнедеятельности организаций, занимающихся инновационной деятельностью. Дается постановка задачи, предлагаются направления и методы дальнейших исследований и приводятся предварительные результаты.*

**Ключевые слова:** информация; управление знаниями; систематизация; модели; организация.

### ВВЕДЕНИЕ

В ходе целенаправленной (например, проектной) деятельности необходимо генерировать, обобщать и представлять достоверную информацию о проектируемой системе в целях формулировки обоснованных решений. Наиболее простое решение – формализация бизнес-процессов и разработка информационной системы на основе этой формальной модели. В результате может получиться, например, база данных определенной структуры и клиентское приложение, используемые для поддержки заранее известных и описанных процессов.

Однако использование данного подхода не всегда оправдано. Основным его недостатком является необходимость полного описания и формализации всех процессов предметной области. Это может быть затруднено по следующим причинам:

- сложность, разнообразие и неформальный характер самих информационных процессов;
- сложность и разнообразие данных, необходимых для проектирования;
- ограниченность бюджета организации, не позволяющего идентифицировать и внедрять формальные подходы.

Эти аргументы применимы и для многих ИТ-компаний, которые, с одной стороны, занимаются инновационной деятельностью и, следовательно, имеют дело со сложными и непредсказуемыми системами и бизнес-процессами, с другой – часто представляют собой стартап-проекты с ограниченными временными и финансовыми ресурсами, не позволяющими использовать строгую организационную структуру.

Стоит отметить, что количество и разнообразие информации, возникающей в ходе инновационной деятельности, довольно велико. Это могут быть файлы, сообщения электронной почты, переписка в программах для мгновенного обмена сообщениями, закладки на страницы интернет-ресурсов, просто случайно записанные где-то мысли и идеи, результаты мозгового штурма и т.д.

В ряде работ, например, в [1], с целью повышения эффективности управления сложными системами предложен подход, основанный на применении информационно-аналитических ресурсов (ИАР). Данный подход основан на характерном свойстве сложных систем – наличии информационных ресурсов, которые при соответствующей организации могут являться отображением фактического состояния параметров системы, а также окружающей ее среды. Такие информационные ресурсы можно формализовать и использовать в качестве аналитической составляющей процесса управления.

Процесс формирования ИАР представляет собой преобразование большого массива разнородных данных, характеризующих различные аспекты системы, в обобщенные модельные представления. При этом задача систематизации всех этих разнородных данных

заключается не столько в формализации и приведении их в порядок (это практически неосуществимо), сколько в обеспечении их сохранности и доступности.

Информационная система в этом случае должна преследовать две цели:

- сделать процесс сохранения информации максимально быстрым и простым;
- сделать процесс поиска нужной информации максимально быстрым, простым и эффективным.

Такая постановка задачи формирования ИАР подразумевает фокусирование не на объективной структуре обрабатываемых информационных объектов, которая выявляется в ходе классического анализа и формализации предметной области, а на выявлении таких субъективных моделей и методик, которые позволят быстро сохранять и эффективно находить ранее сохраненные сведения. На первое место здесь выходят вопросы о том, как человек воспринимает информацию, что он лучше всего запоминает, что для него более сложно, а что более просто.

### **ОСОБЕННОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА К СИСТЕМАТИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ**

Постановка задачи в предлагаемом виде отличается от задач, решаемых в рамках управления знаниями. Существующие работы в этой сфере ведутся в основном в направлении повышения эффективности обработки поисковых запросов за счет выполнения семантического анализа разного уровня сложности. Это подразумевает задание для информационных объектов некоторой семантической метаинформации, описание знаний на языках формальной логики, осуществление автоматического анализа содержания текстовых документов и т.д. [2].

Направления реализации рассматриваемого в статье подхода:

1. Формализация критериев эффективности информационных моделей и использование математических методов для их оптимизации. Например, очевидно, что выбор искомого элемента из списка в 100 пунктов сложнее, чем выбор из списка в 10 пунктов. Соответственно, можно строить модели организации данных, оптимизирующие представление по количеству одновременно отображаемых информационных объектов.

2. Изучение опыта функционирования существующих программных систем так или иначе решающих описанные задачи. К таким системам можно отнести программы для ведения заметок (Evernote, OneNote), органайзеры (LeaderTask, WinOrganizer), Mind Map программы (FreeMind, XMind), текстовые редакторы (Word, Notepad). Анализ способов систематизации и применяемых моделей неструктурированных данных, которые уже используются в реальной практике.

3. Проведение экспериментов, выявляющих эффективность тех или иных методик. Сбор статистических данных в ходе исследуемых бизнес-процессов. Экспериментальное внедрение разработанных методик в практическую деятельность и анализ результатов.

4. Анализ результатов экспериментальной психологии, обобщающих выявленные ранее закономерности человеческой психики. Анализ фундаментальных философских и психологических исследований с целью выявления общих принципов и особенностей мыслительной деятельности. Использование выявленных особенностей устной и письменной речи [3, 6].

В статье приводятся предварительные результаты по первому, второму и четвертому направлениям. Приведенные данные приводятся для демонстрации направления и описания методики дальнейших исследований.

### **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ**

В первую очередь были проанализированы существующие программные средства, пригодные для решения описанных задач. Каждый из данных инструментов обладает определенной функциональностью, отражаемой в ее пользовательском интерфейсе. Ниже приводится классификация типов функций, реализация которых в интерфейсах разных

программ схожа по своей логике, алгоритму работы, внешнему виду и зачастую и терминологии.

### **СПОСОБЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ (МОДЕЛИ) НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ**

1. Разбиение на блоки – информация хранится в отдельных «карточках», «узлах», «страницах», а не сплошным потоком. Это самый простой и очевидный способ систематизации, примером которого может служить тот факт, что речь состоит из предложений, язык из слов (понятий) и т.д. По-видимому, некоторая дискретность – это самый базовый способ борьбы со сложностью, присущий нашему сознанию.

2. Иерархическая организация – распределение данных по некоторому дереву «папок», «категорий» и т.д. Самым простым примером данного метода является иерархическая организация файловой системы. Метафора «папок» файловой системы настолько удачна и хорошо всем знакома, что зачастую в таком же неизменном виде (часто даже со значками из стандартного проводника Windows) используется во многих программных системах.

3. Прикрепление тэгов – не менее распространенный способ систематизации. Тэг – это некоторый признак, выделяющий информационный объект среди других. Выбрав несколько тэгов, мы можем найти объекты, обладающие набором признаков. В некоторых системах возможно составление логических формул, например, выбор объектов, имеющих тэг А и не имеющих В или имеющих С. Основным отличием тэгов от иерархической структуры является возможность прикреплять произвольное количество тэгов в произвольном порядке к одному объекту. При использовании тэгов нет необходимости думать, в какую папку поместить объект, можно просто прикрепить оба тэга.

4. Поиск также можно рассматривать как способ систематизации. Поиск может быть простым полнотекстовым, а может включать возможность составления сложных поисковых запросов с использованием логических формул, регулярных выражений и т.д.

5. Фильтры и сортировки – простые способы упорядочивания данных, упрощающие нахождение нужного элемента. Фильтры представляют собой выборку объектов по значению определенных свойств (которые формально описаны). Сортировка – упорядочивание по значению тех же свойств.

6. Гипертекст – возможность «ссылаться» из одних элементов на другие. Является одним из базовых принципов организации сети Интернет. Используется в ряде других информационных систем.

7. Закладки – быстрый доступ к определенным помеченным объектам. Смысл закладок в том, что по логике организации объект может располагаться где-то глубоко в иерархической структуре и быть труднодоступным. Однако, несмотря на это, объект может быть важен по определенным причинам и доступ к нему должен быть максимально простым и быстрым. То есть закладки нужны в том случае, когда объективное и субъективное места объекта в системе отличаются.

8. Графическое выделение – использование специальных графических приемов для обозначения типа записи, выделения и упрощения поиска.

В таблице 1 представлена доступность описанных способов (моделей) в некоторых программных системах.

Проведенный анализ показывает, что существующие программные системы предлагают довольно ограниченный набор способов систематизации, ограничиваясь наиболее простыми и очевидными. Иерархическое оглавление, сортировки, закладки – это инструменты, которые давно известны и используются уже тысячи лет в книгах, библиотечном деле и других традиционных способах хранения информации. Мы не наблюдаем использования в данных продуктах системного подхода к решению вопроса, основанного на использовании данных психологических и филологических наук,

применения какой-либо четкой обоснованной методики к организации процесса систематизации информации, что в конечном счете ограничивает их эффективность.

Таблица 1 – Доступность моделей систематизации в существующих программных системах

Программные системы  Способы систематизации (модели)	Программы для ведения заметок				Органайзеры				Карты памяти (Mind Map)			Текстовые редакторы	
	OneNote	Ever-note	Zim	Out Wiker	Actionspace	LeaderTask	Miniplan	WinOrganizer	FreeMind	XMind	MindJet MindManager	Word	Notepad
Разбиение на блоки	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Иерархическая	+	± <sub>1</sub>	+	+	+	+	± <sub>2</sub>	+	+	+	+	-	-
Тэговая	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Поиск	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Фильтры и сортировки	± <sup>3</sup>	+	-	-	+	+	± <sub>4</sub>	-	-	+	+	-	-
Гипертекст	+	+	+	+	+	-	-	+	± <sup>5</sup>	± <sup>5</sup>	± <sup>5</sup>	+	-
Закладки	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Графическое выделение	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-

**Примечания к таблице 1:**

1 – Ограничена глубина иерархии до двух уровней.

2 – Только один уровень иерархии.

3 – Только сортировка по дате и автору.

4 – Только фильтр по времени и категории.

5 – Есть возможность создания записей-ссылок.

Повышение эффективности возможно как за счет введения новых способов систематизации, так и за счет совершенствования существующих.

Несколько примеров применения новых способов систематизации:

– сохранение истории просмотров – простой способ систематизации, прочно зарекомендовавший себя в функционале современных интернет-браузеров;

– способы систематизации, основанные на мнемотехниках. Например, в своей книге [9] Лурия описывает использование техники привязки информации к географическим объектам, позволявшей существенно повысить продуктивность памяти;

– использование ассоциативных связей. Во многих исследованиях указывается на ассоциативный характер человеческой памяти [8]. Очевидно, должен существовать способ активировать этот потенциал для решения задач систематизации информации;

– применение образного мышления. Образное мышление является существенной частью человеческой психики [8, 9]. Использование цвета, графики, анимации, живых метафор при должной организации способно упростить ориентацию человека в информационных массивах;

– использование нечетких способов систематизации. Л. Витгенштейн в [4, 5] указывал, что понятия и конструкции естественного языка не являются строго детерминированными по своей природе. Смысл слова является, скорее, набором возможных его применений в различных языковых играх, и определен не более, чем определены сами эти игры. Нечто похожее можно также обнаружить у Выготского Л.Н. [6]. Психолог указывает на то, что слова являются инструментом мышления, однако они практически никогда не соответствуют в полной мере самим мыслям. Поэтому использование механизма нечетких множеств и различных нечетких критериев здесь может принести свои плоды;

– использование предметно-ориентированных моделей. Так, например, в ряде случаев может быть применимо описание набора фактов с точки зрения последовательности их возникновения. В других случаях может быть важна причинно-следственная связь. Программная система здесь может предлагать набор шаблонных моделей, и давать возможность пользователям создавать собственные модели, для конкретных предметных областей.

### СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМАТИЗАЦИИ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Если говорить о повышении эффективности существующих способов систематизации, то этого можно достичь за счет большей степени формализации и более детального их изучения. Рассмотрим две описанные выше модели систематизации – теговую и иерархическую. В общем случае отдельно взятый тэг можно рассматривать как иерархическую модель, представляющую собой простую дихотомию (рис. 1).



*Рисунок 1 – Иерархическая модель, соответствующая тэгу*

Поэтому иерархическую и теговую модели можно обобщить в одну модель, назовем ее мультииерархической. Принцип данной модели заключается в определении множества независимых иерархических моделей, результат выборки по которым объединяется также как в теговой модели (как пересечение множеств или по сложной логической формуле).

Иерархическую модель можно представить в виде набора взаимосвязанных множеств. Каждому узлу и листу дерева соответствует определенный набор информационных объектов. Нижележащие узлы разбивают выборку вышестоящего узла на подмножества. Таким образом, корневой элемент дерева объединяет все множество объектов, а листья дерева представляют наиболее детальное разбиение этого множества на подмножества.

При рассмотрении мультииерархической модели возникает вопрос об оптимальной идентификации ее параметров. Задача оптимизации формулируется следующим образом: какова должна быть структура модели, чтобы с ее помощью можно было сделать выборку ограниченного размера, содержащую заданный элемент, совершив при этом как можно меньше и как можно более простых действий. Действием здесь следует считать выбор определенного элемента модели, а сложностью действия – количество элементов, из которых производится выбор. Например, при поиске в иерархической модели совершается по одному действию при спуске на один уровень вниз по дереву, при этом каждый раз выбирается очередной дочерний узел. В теговой модели количество действий будет равно количеству тэгов, которые необходимо выбрать для получения заданного множества.

Крайними решениями данной задачи будут собственно чисто иерархическая и чисто тэговая модели. В первом случае мы будем разбивать множество объектов на подмножества до тех пор, пока не получим подмножество, меньшее объемом, чем задано ограничением. Во втором мы будем определять столько тэгов, чтобы их пересечение дало аналогичный результат. Промежуточные варианты будут включать определение  $n$ -го количества иерархических моделей с определенной степенью детализации, пересечение по которым даст нужное множество.

Определим параметры мультииерархической модели, оптимизация которых необходима при решении данной задачи:

– количество деревьев. В чисто иерархической модели значение данного параметра равно единице, в тэговой – количеству тэгов;

– глубина деревьев, т.е. глубина детализации по каждому критерию. В тэговой модели значение данного параметра равно единице, в иерархической – глубине дерева;

– ширина деревьев, т.е. количество классов на каждом уровне деревьев. В тэговой модели значение параметра равно двум (два класса – наличие признака и отсутствие признака), в иерархической – среднему количеству узлов на каждом уровне.

Глубина дерева будет влиять на количество выборов, которые нужно совершить пользователю, а ширина деревьев – на их сложность. Количество деревьев будет влиять на оба этих критерия.

В тэговой модели ширина каждого дерева минимальна, поэтому выбор для каждого тэга наиболее прост (присутствует в искомом объекте признак или нет), однако из-за большого количества тэгов поиск нужного тэга будет затруднительным.

Помимо мультииерархической модели можно рассмотреть другой вариант обобщения тэговой и иерархической моделей – простую организацию в виде иерархии самих тэгов. Назовем данную модель тэгово-иерархической. Отличие этой модели от мультииерархической заключается в том, что листья дерева в данном случае образуют множества, которые могут произвольным образом пересекаться. Таким образом, спуск вниз по дереву не означает разбиение множества на непересекающиеся подмножества, но упрощает поиск нужного тэга.

В свою очередь, мультииерархическую и тэгово-иерархическую модели можно обобщить таким образом, что листьями тэгово-иерархической модели будут не тэги, а иерархические модели. В связи с этим обобщенный параметр «количество деревьев» заменятся на глубину и ширину этого объемлющего дерева.

Решение задачи оптимизации параметров модели выходит за рамки данной статьи и будет рассмотрено в следующих публикациях.

Повышение эффективности способов накопления и доступа к информации и знаниям является одним из ключевых аспектов конкурентоспособности организаций в современном мире [10]. Однако существующие подходы к решению данной задачи являются либо простыми техническими средствами для обмена файлами и реализации элементарных способов иерархической организации и полнотекстового поиска, либо представляют собой попытки моделирования искусственного интеллекта, способного в автоматическом режиме находить необходимые сведения в больших базах данных [2]. Первый подход включает исключительно низкоуровневые проблемы по организации распределенных баз данных, передачи информации по сети и реализации пользовательских интерфейсов, которые уже хорошо изучены и имеют промышленные решения. Второй подход сталкивается со значительной трудностью самой задачи автоматического анализа текста [11] и моделирования человеческого мышления.

Предлагаемое исследование ориентировано в третьем направлении, которое в некотором смысле находится между рассмотренными в предыдущем абзаце подходами. Вместо того, чтобы создавать плохо организованные беспорядочные массивы данных и пытаться впоследствии интеллектуальными средствами извлекать из них знания, предлагается сразу помещать информацию в правильную упорядоченную систему, модель

которой позволит получать к ней быстрый доступ. Основными задачами при таком подходе становятся построение такой модели систематизации, которая бы позволяла достаточно быстро размещать необходимые сведения и также быстро и эффективно их находить.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аккумулируя сказанное выше, можно сказать, что проблема систематизации слабо структурированной информации является актуальной. Научный поиск подходов к решению этой проблемы и их практическая реализация способны существенно повысить скорость разработки и эффективность проектных решений широкого спектра задач, в том числе в инновационной сфере.

Проведенный анализ показал, что существующие программные системы предлагают ограниченный набор наиболее простых и очевидных способов систематизации, которые не обеспечивают необходимой скорости и эффективности решения проектных задач.

Одним из возможных способов решения задачи является создание высокоэффективной системы преобразования неупорядоченных данных в ИАР, которые позволят быстро получать доступ к необходимой информации. Наиболее очевидный путь – модификация теговой и иерархической моделей систематизации и практическая реализация модифицированных моделей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коськин А.В., Терентьев С.В., Фролов А.И. Методика формирования современной информационно-технологической среды управления организационно-техническими системами на основе информационно-аналитических ресурсов // Информационные системы и технологии, 2011. – № 4(66). – С. 99-108.
2. Тузовский А.Ф., Чириков С.В., Ямпольский В.З. Системы управления знаниями (методы и технологии) / под общ. ред. В.З. Ямпольского // Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 260 с.
3. Terzieva M. Project Knowledge Management: How Organizations Learn from Experience // Procedia Technology, 2014. – Том 16. – С. 1086-1095.
4. Богатырев П.Ю. Принципы повышения эффективности передачи сведений в письменной речи // VI международная научно-техническая конференция ИТНОП, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://youconf.ru/itnop2014/materials/manager/view/274>.
5. Витгенштейн Л. Философские исследования [Электронный ресурс]. – URL: <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000273/index.shtml>.
6. Грязнов А.Ф. Язык и деятельность. Критический анализ витгенштейнианства. – Изд. 2-е, доп. // М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 152 с.
7. Выготский Л.С. Мышление и речь. – Изд. 5, испр. // Издательство «Лабиринт». – М., 1999. – 352 с.
8. Кобозева И.М. Лингвистическая семантика: учебное пособие. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 352 с.
9. Зинченко Т.П. Память в экспериментальной и когнитивной психологии. – СПб.: Питер, 2002. – 320 с.
10. Лурия А.Л. Маленькая книжка о большой памяти // М.: Книга по Требованию, 2013. – 88 с.
11. Нонака И., Такеучи Х. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах // М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 384 с.
12. Boguslavsky I., Iomdin L., Sizov V. Interactive enconversion by means of the ETAP-3 system // In: Proceedings of the International Conference on the Convergence of Knowledge, Culture, Language and Information Technologies. – Alexandria, 2003.

**Богатырёв Павел Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел

Аспирант

Тел.: 8 915 507 95 42

E-mail: PFight77@gmail.com

**Коськин Александр Васильевич**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, проректор по информатизации и специальным проектам

Тел.: 8 (4862) 41-98-15

E-mail: koskin@ostu.ru

---

P.Yu. BOGATY'RYoV (*Post-graduate Student*)

A.V. KOS'KIN (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,*

*Vice-Rector for Information and Special Projects*)

*Prioksky State University, Orel*

### SYSTEMATIZATION OF INFORMATION IN THE IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE PROJECTS IT-COMPANIES

*Approach for solving problem of systematization of information objects, generating and using in innovation organization processes is described. Research task and directions of future investigations are declared, first results of the research are presented.*

**Keywords:** *information; knowledge management; systematization; models; organization.*

#### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kos'kin A.V., Terent'ev S.V., Frolov A.I. Metodika formirovaniya sovremennoj informacionno-technologicheskoy sredy' upravleniya organizacionno-technicheskimi sistemami na osnove informacionno-analiticheskix resursov // *Informacionny'e sistemy' iologii*, 2011. – № 4(66). – S. 99-108.
2. Tuzovskij A.F., Chirikov S.V., Yampol'skij V.Z. Sistemy' upravleniya znaniyami (metody' iologii) / pod obshh. red. V.Z. Yampol'skogo // Tomsk: Izd-vo NTL, 2005. – 260 s.
3. Terzieva M. Project Knowledge Management: How Organizations Learn from Experience // *Procedia Technology*, 2014. – Tom 16. – S. 1086-1095.
4. Bogaty'rev P.Yu. Principy' pov'y'sheniya e'ffektivnosti peredachi svedenij v pis'mennoj rechi // VI mezhdunarodnaya nauchno-technicheskaya konferenciya ITNOP, 2014 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://youconf.ru/itnop2014/materials/manager/view/274>.
5. Vitgenshtejn L. Filosofskie issledovaniya [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000273/index.shtml>.
6. Gryaznov A.F. Yazyk i deyatelnost'. Kriticheskij analiz vitgenshtejnians'tva. – Izd. 2-e, dop. // M.: Knizhny'j dom «LIBROKOM», 2009. – 152 s.
7. Vy'gotskij L.S. My'shlenie i rech'. – Izd. 5, ispr. // Izdatel'stvo «Labirint». – M., 1999. – 352 s.
8. Kobozeva I.M. Lingvisticheskaya semantika: uchebnoe posobie. – M.: E'dichorial URSS, 2000. – 352 s.
9. Zinchenko T.P. Pamyat' v e'ksperimental'noj i kognitivnoj psixologii. – SPb.: Piter, 2002. – 320 s.
10. Luriya A.L. Malen'kaya knizhka o bol'shoj pamyati // M.: Kniga po Trebovaniyu, 2013. – 88 s.
11. Nonaka I., Takeuchi X. Kompaniya – sozdatel' znaniya. Zarozhdenie i razvitie innovacij v yaponskix firmax // M.: Olimp-Biznes, 2003. – 384 s.
12. Boguslavsky I., Iomdin L., Sizov V. Interactive enconversion by means of the ETAP-3 system // In: *Proceedings of the International Conference on the Convergence of Knowledge, Culture, Language and Information Technologies*. – Alexandria, 2003.

УДК 658.512.6

А.С. БЫЧКОВА, А.Б. НЕЧАЕВА, О.Н. ЛУНЁВА,  
Р.А. ЛУНЁВ, А.А. СТЫЧУК, А.Е. ЯСТРЕБКОВ**АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ И ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ  
И ТЕХНОЛОГИЙ «УМНОГО ГОРОДА»**

*В статье рассмотрены проблемы и задачи управления городским хозяйством. Выявлена и обоснована необходимость внедрения и использования технологий интеллектуального управления городским хозяйством с целью создания необходимых условий для социально-экономического прогресса городов. Проведена сравнительная характеристика механизмов управления городским хозяйством советского и российского периодов, в результате которой сделан вывод о необходимости преобразований существующей системы управления городским хозяйством. Для решения проблем управления городским хозяйством авторами предложено использование концепции «Умный город», которая, используя информационные технологии, позволит повысить качество и оперативность управления, снизить административные издержки и улучшить уровень жизни населения.*

**Ключевые слова:** интеллектуальное управление городским хозяйством; умный город; информационные технологии; электронная услуга; обслуживание населения; облачные технологии.

На сегодняшний день основная масса населения как России, так и планеты в целом, проживает и работает в городах. Большая часть экономического, научно-технического и социального потенциала находится, создается и используется именно населением городов. Именно здесь аккумулируются территориальные, природные, социальные и финансовые ресурсы регионов, создаются условия, необходимые для организации процессов социально-экономического развития общества и их эффективного использования. Все это определяет первостепенное значение создания, внедрения и использования технологий интеллектуального управления городским хозяйством с целью создания необходимых условий для социально-экономического прогресса городов, повышения качества жизни людей и эффективного использования созданных и накопленных ресурсов города [1].

На сегодняшний день городское хозяйство – это сложно-структурированная, постоянно изменяющаяся система взаимодействующих между собой, зачастую абсолютно разных сфер человеческой деятельности, направленных на обеспечение и удовлетворение основных потребностей жителей, организаций и предприятий города. Сложность управления системой городского хозяйства состоит в многообразии и разнородности потребностей жителей города, состава организаций и предприятий, характера оказываемых ими услуг, организационных форм, их структуры и специфики деятельности.

Наиболее употребим термин городского хозяйства в отношении совокупности сфер деятельности, обеспечивающих функционирование города, предоставляющих следующие виды услуг:

– производственные услуги, направленные на удовлетворение запросов производства, но не являющиеся частью его технологического процесса. Это услуги, связанные в основном с водоснабжением производства, обеспечением тепло- и электроэнергией, доставкой сырья, конечной продукции потребителю и т.д.;

– личные услуги, направленные на удовлетворение как материальных, так и духовных запросов населения. Как правило, это услуги организации торговли, общественного питания, функционирования большинства отраслей жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), бытового обслуживания, здравоохранения и т.д.;

– общественные услуги, направленные на развитие самого города и его подсистем. Это органы управления, охраны общественного порядка, науки и научного обслуживания внутригородского значения, услуги по благоустройству и озеленению территории и т.д. [2].

Можно говорить, что городское хозяйство любого муниципального образования представляет собой комплекс производственных, административных и жилых зданий, систем жизнеобеспечения, транспортных развязок, инженерных коммуникаций и других объектов городской инфраструктуры. Городское хозяйство имеет многоотраслевую структуру и призвано обеспечивать условия для жизнедеятельности населения на всей территории города и для функционирования предприятий всех отраслей народного хозяйства, расположенных на его территории [3].

Управление городским хозяйством, несмотря на достаточно большой исторический период градообразования, находится в современной России на стадии становления и развития. Законодательная база несовершенна и во многом противоречива, не до конца сформировалась и устоялась терминология, экономические и финансовые ресурсы недостаточны и не обеспечивают удовлетворение зачастую даже основных жизненно важных потребностей жителей города в социально значимых товарах и услугах.

Сегодня используется система управления городским хозяйством, основанная на принципах, заложенных еще в советский период, которые претерпели лишь незначительные изменения. Чтобы понять устройство и особенности сегодняшней системы городского хозяйства, необходимо рассмотреть характерные черты директивного механизма управления городским хозяйством советского периода:

- монополия государственной собственности;
- централизация управленческих функций государством;
- бюрократизм в управлении;
- низкие тарифы на жилищно-коммунальные услуги;
- низкое качество выполняемых работ и услуг, игнорирование интересов населения;
- партийно-государственный контроль за деятельностью предприятий и организаций городского хозяйства;
- бесхозяйственность и громадные потери ресурсов;
- бюджетное ресурсообеспечение.

В условиях переходного периода система управления городским хозяйством, в основе которой лежит внеэкономическое принуждение, была преобразована в административно-ведомственный механизм, основными чертами которого стали следующие характеристики:

- преобладание государственной и муниципальной собственности в городском хозяйстве и торможение формирования частного конкурентного сектора;
- развитие ведомственного монополизма и ведомственной централизации;
- повышение тарифов на услуги и продукцию жилищно-коммунального сектора;
- бюрократизм в управлении на уровне ведомств;
- ведомственный контроль за результатами деятельности;
- низкая эффективность и громадные потери используемых ресурсов;
- дотационное финансирование;
- игнорирование интересов населения.

Можно сделать вывод, что ситуация в управлении городским хозяйством не изменилась, хотя и произошли определенные сдвиги по усилению ведомственности, ослаблению внешнего контроля и повышению тарифов на услуги и продукцию без соответствующего улучшения качества работы. Как правило, в управлении городским хозяйством приоритет имеет административно-ведомственный механизм, основанный на приказах и распоряжениях, а не на учете интересов участников и обоснованных, продуманных решениях. Необходимы проведение глубоких преобразований существующей системы управления городским хозяйством и переход к индикативному механизму управления, соответствующему рыночным условиям хозяйствования и ориентирующемуся на интересы жителей города.

Следует сформировать новый хозяйственный механизм, ориентированный на использование экономических рычагов и стимулов. Важнейшей целью нового механизма

служат максимально полное удовлетворение потребностей населения в услугах, энергии и т.д. Для ее достижения необходимо решение следующих задач:

- первоочередное обеспечение учета интересов населения в решении всех важнейших вопросов развития городского хозяйства;
- разработка рациональной системы взаимоотношений между всеми участниками хозяйственных интересов на экономической и правовой основах;
- обеспечение устойчивого ресурсосбережения комплексом отраслей городского хозяйства. Прежде всего это финансовое обеспечение за счет привлечения централизованных и нецентрализованных источников финансирования, развития материально-технической базы городского хозяйства и улучшения системы подготовки кадров [4].

По мере развития города в результате принятия политических и экономических решений возникают технические и хозяйственные проблемы, которые приходится решать в рамках задач управления городским хозяйством. Каждая из этих задач для своего решения требует целого комплекса мероприятий и используемых технологий. Сегодня часто употребляется термин «Умный город», который и вобрал в себя весь комплекс мероприятий и технологий, необходимых для интеллектуального управления городским хозяйством с учетом современных требований.

Рассмотрим в качестве примера проблемы городского хозяйства города Москва как одного из наиболее развитых в инфраструктурном и социально-экономическом планах города России [5]. Одними из самых острых проблем являются следующие:

- неконтролируемый рост личного автотранспорта;
- деградация зеленых насаждений;
- некупаемость жилищно-коммунального хозяйства;
- антропогенное загрязнение территории;
- введение нереализуемых норм и стандартов.

Для решения обозначенных выше проблем применяется комплекс мер, в основу которого заложено использование современных подходов, новейших технологий, средств сбора, распространения и обмена информацией с населением умного города:

- сбор информации о дорожных проблемах и их устранение;
- планирование посадок и уход за зелеными насаждениями;
- реформа жилищно-коммунального хозяйства;
- перспективные задачи строительства городской среды;
- ландшафтное проектирование городской среды;
- информатизация жилищно-коммунального хозяйства.

Важным элементом функционирования умных городов является активное внедрение информационных технологий. На сегодняшний день в решении проблем управления городским хозяйством активно используются системы предоставления электронных услуг населению и автоматизированные интеллектуальные системы управления и контроля различными сторонами жизни города [6]. К таким сферам жизни города относятся жилищно-коммунальное хозяйство, городское автомобильное движение, общественный транспорт, туризм, общественная безопасность, система образования, здравоохранения, охраны общественного порядка, энерго- и водоснабжения, экологическая и природоохранная ситуации и т.д.

Внедрение и инновационное использование информационных технологий, интеллектуальных систем «умного города» способствует повышению качества и оперативности управления, снижению административных издержек и улучшению уровня и качества жизни населения.

Существенно упростить все процедуры взаимодействия между городскими властями и жителями позволяют элементы системы так называемого электронного правительства, предполагающие реализацию следующих мероприятий [7]:

- автоматизация многофункциональных центров;

- мобильные приложения для губернаторов, депутатов, инспекторов ГИБДД и т.д.;
- платформа для публикации открытых данных;
- решения для межведомственного взаимодействия;
- порталные решения для взаимодействия с населением;
- системы управления ключевыми показателями и информационные панели, агрегирующие данные по основным проектам/активностям;
- автоматизация предприятий ЖКХ.

В общем виде принята следующая классификация технологий, обеспечивающих функционирование «Умного города». Особенно обратим внимание на технологии, при использовании которых целесообразно использование информационных технологий с целью повышения качества жизни жителей «Умного города» [8]:

– мобильное приложение быстрого реагирования – данная технология направлена на оперативное оповещение городских служб об обнаруженной проблеме с помощью приложения мобильного телефона или смартфона. В условиях современного города данный механизм оповещения городских служб является наиболее простым и универсальным способом, который позволит городским службам оперативно получать информацию о проблемах города, вовлекая в процесс решения городских проблем, население [9];

– «Умный дом» – это интеллектуальная система управления домом, обеспечивающая автоматическую и согласованную работу всех систем жизнеобеспечения и безопасности. Такая система самостоятельно распознает изменения в помещении и реагирует на них соответствующим образом. Технологии настолько продвинулись, что даже могут следить за диетой жителя «Умного дома» и предлагать различные рецептуры функционального питания [10];

– приложения на основе открытых данных – инициативы в сфере разработки приложений на основе открытых данных, способствуют созданию множества полезных мобильных сервисов для жителей города и позволяют сэкономить средства из городского бюджета. Использование систем облачного хранения данных позволит значительно упростить доступ к этим данным, а также их использование при разработке подобных приложений [11];

– интеллектуальная система общественного транспорта – комплекс взаимосвязанных автоматизированных систем, решающих задачи управления дорожным движением, мониторинга и управления работой всех видов транспорта (индивидуального, общественного, грузового), информирования граждан и предприятий об организации транспортного обслуживания на территории региона;

– система оповещения о ЧС – существование подобных систем позволило бы в значительной степени минимизировать последствия многих стихийных бедствий, терактов и других ЧС. Предпочтительнее всего для решения подобной задачи выглядело бы использование системы мобильного оповещения, ведь жители современных городов почти не расстаются со своими мобильными телефонами [12];

– мобильные платежи – операция с денежными средствами, осуществленная с помощью устройства мобильной телекоммуникационной сети при оказании электронных услуг населению [13]. В мобильной коммерции – беспроводной электронный платеж, работающий с кассовыми терминалами или пунктами оказания услуг и поддерживающий мобильные телефоны, смартфоны, КПК, мобильные терминалы. По прогнозам уже к 2020 году мобильные платежи могут почти полностью вытеснить платежи наличными деньгами и банковскими картами.

Таким образом, можно сделать вывод, что вопросы управления городским хозяйством, несмотря на огромную работу, проделанную в этом направлении в течение последних десятилетий, по-прежнему остаются актуальными и требующими решения.

Важно отметить, что развитие информационных технологий, а также технических средств дало новый толчок к созданию решений в управлении городским хозяйством.

Концепция умного города позволила в значительной степени формализовать задачи управления городским хозяйством, решение которых на сегодняшний день не представляется возможным без использования информационных технологий.

Разработка методологических основ создания информационных систем, предназначенных для сбора информации от жителей города, первичной обработки и анализа полученной информации, доведение ее до соответствующих городских служб, в соответствии с определенной, настраиваемой системой приоритетов, позволит решить значительную часть проблем управления городским хозяйством в рамках концепции умного города.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
2. Захарова Е.Ю. Бытовые услуги: реформы и реалии. – Новосибирск: Новосибирская государственная академия экономики и управления, 2008.
3. Чекалин В.С. Экономика городского хозяйства: учебное пособие. – СПб: СПбГИЭА, 1999.
4. Совершенствование управления городским хозяйством [Электронный ресурс]. – URL: <http://allendy.ru/eorgh/517-soversh-upravleniem.html>.
5. Пупырев Е.И. Опыт проектирования объектов городской среды // Проблемы управления качеством городской среды. Сборник докладов VI Международной научно-практической конференции. – М.: Изд. Прима-Пресс-М, 2001. – С. 41-46.
6. Лунев Р.А. и др. Формирование информационной среды предоставления электронных услуг населению / Р.А. Лунев, И.С. Константинов, В.Н. Волков, А.А. Стычук // Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – Белгород: НИУ «БелГУ». – Издательский дом «Белгород», 2015. – № 1(198). – Выпуск 33/1. – С. 143-147.
7. «Умные города». Перспективы развития в России [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iemag.ru/analytics/detail.php?ID=34007>.
8. 12 технологий умного города [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.therunet.com/articles/353-12-tehnologiy-umnogo-goroda>.
9. Лунев Р.А. и др. Геосоциальный сервис как электронная услуга населению / Р.А. Лунев, А.А. Стычук, В.Н. Волков, А.А. Митин // Информационные системы и технологии, 2015. – № 3(89). – С. 65-70.
10. Лунева О.Н., Зегелева В.В. Функциональные продукты, направленные на снижение холестерина // Основные перспективы развития пищевой инженерии и гигиены питания // Международная научно-практическая конференция молодых ученых, 25-26 мая 2015 года. – Орел: ОрелГИЭТ, 2015. – С. 23-25.
11. Лунев Р.А., Щербаков А.А., Виноградов Л.В. Инструментальные средства создания систем файлового хранения с использованием облачных технологий // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М.: ООО «Издательский дом «Спектр», 2013. – № 1. – С. 30-33.
12. Лунев Р.А. и др. Анализ возможностей совместного использования социальных сетей и геоинформационных сервисов при оказании электронных услуг населению / В.Н. Волков, Р.А. Лунев, А.А. Стычук, А.Е. Ястребков, А.С. Бычкова, А.Б. Нечаева // Информационные системы и технологии, 2015. – № 5(91). – С. 53-61.
13. Лунев Р.А., Стычук А.А., Митин А.А. Требования к составу функций веб-сервиса оказания электронных услуг населению // Информационные системы и технологии, 2015. – № 1(87). – С. 49-58.

**Бычкова Анастасия Сергеевна**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел

Магистрант УНИИ ИТ

Тел.: 8 (4862) 42-36-12

E-mail: [anastasiya@skb-it.ru](mailto:anastasiya@skb-it.ru)

**Нечаева Анастасия Борисовна**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Магистрант УНИИ ИТ  
Тел.: 8 (4862) 42-36-12  
E-mail: nechaeva@skb-it.ru

**Лунёва Ольга Николаевна**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология и товароведение продуктов питания»  
Тел.: 8 (4862) 41-98-99  
E-mail: olga\_lu@list.ru

**Лунёв Роман Алексеевич**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, директор НОЦ ФиПИТ  
Тел.: 8 920 287 79 85  
E-mail: rolu@yandex.ru

**Стычук Алексей Александрович**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора ресурсного центра информатизации образования по научно-методической работе  
Тел.: 8 (4862) 43-49-56  
E-mail: stichuck@yandex.ru

**Ястребков Артём Евгеньевич**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Аспирант УНИИ ИТ  
Тел.: 8 (4862) 42-36-12  
E-mail: nerlin@skb-it.ru

---

A.S. BY'ChKOVA (*Master Student of Educational and Research Institute of Information Technologies*)

A.B. NEChAEVA (*Master Student of Educational and Research Institute of Information Technologies*)

O.N. LUNYoVA (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department «Technology and Commodity Research of Food»*)

R.A. LUNYoV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Director of Research and Education Center «Fundamental and Applied Information Technologies»*)

A.A. STY'ChUK (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Deputy Director of Resource Center of Informatization of Education on Scientific and Methodological Work*)

A.E. YaSTREBKOV (*Post-graduate Student of Educational and Research Institute of Information Technologies  
Prioksky State University, Orel*)

**ANALYSIS OF PROBLEMS AND TASKS OF URBAN MANAGEMENT  
AND TECHNOLOGIES OF THE SMART CITY**

*This particular paper views problems and tasks of municipal services control. It reveals and proves the need of introduction and using of municipal services intellectual control technologies with the object of creation of necessary conditions for socio-economic city progress. It shows comparative characteristics of municipal services control mechanisms of soviet and Russian periods and draws a conclusion of need of transformation current system of municipal services control. For resolving the problem of municipal services control the author offers the use of «Smart City» concept which uses information technologies so that it allows to improve the quality and responsiveness of control, allows to reduce administrative expenses and improves the quality of life.*

**Keywords:** *intelligent urban management; smart city; information technology; electronic service; service of the population; cloudy technologies.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Il'ichev V.A. Biosfer'naya sovmestimost': tekhnologii vnedreniya innovacij. Goroda, razvivayushhie cheloveka. – M.: Knizhny'j dom «LIBROKOM», 2011. – 240 s.
2. Zaxarova E.Yu. Bytovy'e uslugi: reformy' i realii. – Novosibirsk: Novosibirskaya gosudarstvennaya akademiya e'konomiki i upravleniya, 2008.
3. Chekalin V.S. E'konomika gorodskogo xozyajstva: uchebnoe posobie. – SPb: SPbGIE'A, 1999.
4. Sovershenstvovanie upravleniya gorodskim xozyajstvom [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://allendy.ru/eopgh/517-soversh-upravleniem.html>.
5. Pupy'rev E.I. Opy't proektirovaniya ob'ektov gorodskoj sredy' // Problemy' upravleniya kachestvom gorodskoj sredy'. Sbornik dokladov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – M.: Izd. Prima-Press-M, 2001. – S. 41-46.
6. Lunev R.A. i dr. Formirovanie informacionnoj sredy' predstavleniya e'lektronny'x uslug naseleniyu / R.A. Lunev, I.S. Konstantinov, V.N. Volkov, A.A. Stychuk // Nauchny'e vedomosti BelGU. Seriya «Istoriya. Politologiya. E'konomika. Informatika». – Belgorod: NIU «BelGU». – Izdatel'skij dom «Belgorod», 2015. – № 1(198). – Vy'pusk 33/1. – S. 143-147.
7. «Umny'e goroda». Perspektivy' razvitiya v Rossii [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.iemag.ru/analitics/detail.php?ID=34007>.
8. 12 tekhnologij umnogo goroda [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.therunet.com/articles/353-12-tehnologiy-umnogo-goroda>.
9. Lunev R.A. i dr. Geosocial'ny'j servis kak e'lektronnaya usluga naseleniyu / R.A. Lunyov, A.A. Stychuk, V.N. Volkov, A.A. Mitin // Informacionny'e sistemy' i tekhnologii, 2015. – № 3(89). – S. 65-70.
10. Luneva O.N., Zegeleva V.V. Funkcional'ny'e produkty', napravlenny'e na snizhenie xolesterina // Osnovny'e perspektivy' razvitiya pishhevoj inzhenerii i gigieny' pitaniya // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molody'x ucheny'x, 25-26 maya 2015 goda. – Orel: OrelGIE'T, 2015. – S. 23-25.
11. Lunev R.A., Shherbakov A.A., Vinogradov L.V. Instrumental'ny'e sredstva sozdaniya sistem fajlovogo xraneniya s ispol'zovaniem oblachny'x tekhnologij // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tekhnologij. – M.: OOO «Izdatel'skij dom «Spektr», 2013. – № 1. – S. 30-33.
12. Lunev R.A. i dr. Analiz vozmozhnostej sovmestnogo ispol'zovaniya social'ny'x setej i geoinformacionny'x servisov pri okazanii e'lektronny'x uslug naseleniyu / V.N. Volkov, R.A. Lunev, A.A. Stychuk, A.E. Yastrebkov, A.S. By'chkova, A.B. Nechaeva // Informacionny'e sistemy' i tekhnologii, 2015. – № 5(91). – S. 53-61.
13. Lunev R.A., Stychuk A.A., Mitin A.A. Trebovaniya k sostavu funkcij veb-servisa okazaniya e'lektronny'x uslug naseleniyu // Informacionny'e sistemy' i tekhnologii, 2015. – № 1(87). – S. 49-58.

УДК 681.3.063

О.Д. ИВАЩУК, В.И. ФЁДОРОВ

## СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКО-ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

*В статье рассматривается подход к построению системы интеллектуального мониторинга водных объектов сельско-городских территорий. Выявлены основные функции и структура соответствующей системы, методика построения интегральной оценки качества водных объектов сельско-городских территорий. Изложены некоторые результаты проведения мониторинга водных объектов на базе лаборатории НИУ «БелГУ».*

**Ключевые слова:** автоматизированная система мониторинга; интеллектуальный анализ данных; интеллектуальный мониторинг; экологическая ситуация.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема ухудшения качества природных вод и состояния водных систем в результате возросшей антропогенной деятельности набирает все большую актуальность. По данным федеральной службы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на 2014 г., по центральному федеральному округу более чем 50% отобранных проб воды на водных объектах относятся к классам «грязная» и «очень грязная» [1]. Качество водных ресурсов особенно тесно связано с развитием сельско-городских территорий, техногенным преобразованием биотехносферы.

В связи с вышесказанным возникает задача адаптивного результативного управления качеством водных объектов. При этом для повышения эффективности информационного обеспечения данного процесса необходимо осуществлять комплексный мониторинг с оценкой текущего состояния экологической ситуации и прогнозированием ее динамики, дальнейшим обоснованием тех или иных управленческих решений.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами поставлена научная задача построения модели системы интеллектуального мониторинга водных объектов сельско-городских территорий и разработки методов обеспечения интеллектуального анализа данных при функционировании системы.

Существующие системы экомониторинга, в том числе широко использующие средства автоматизации, в большей мере ориентированы на сбор и обработку данных, предоставление информации, в том числе и с помощью ГИС, некоторые фрагментарно решают задачи прогнозирования. Основными проблемами их функционирования являются:

- очень слабая связь с задачами поддержки принятия управленческих решений;
- не осуществляются процессы оценки и прогнозирования динамики экологической ситуации в целом;
- исключение сельско-городских территорий из объектов регулярного наблюдения.

При разработке подобных систем мониторинга авторы наделили их, кроме традиционных функций автоматизированного сбора и обработки данных, дополнительными функциями интеллектуального анализа данных [2]:

- осуществление на уровне мониторинга интеллектуального анализа поступающей информации: интегральной оценки текущей экологической ситуации и предварительного прогнозирования ее развития;
- ситуационное моделирование на основе использования разработанного авторами метода интегральной оценки, базирующегося на синтезе нейро-нечеткого аппарата и ГИС-технологий;
- оценка и прогнозирование последствий управленческих решений.

Разработана структурная модель системы интеллектуального мониторинга водных объектов (рис. 1), в которой выделены основные подсистемы [3]:

- подсистема ввода данных – осуществляет сбор и предварительную обработку данных;
- подсистема оценки и прогнозирования – осуществляет интегральную оценку текущей и прогнозной экологических ситуаций, а также прогнозирование экологической ситуации;
- подсистема хранения данных – осуществляет хранение параметров текущей экологической ситуации, параметров оценочных и прогнозных моделей, а также результатов интегральной оценки;
- подсистема вывода данных – осуществляет предоставления данных в удобной форме для пользователей (формирование отчетов, предоставление информации с помощью ГИС-технологий и др.).



**Рисунок 2 – Структурная схема системы автоматизированного мониторинга сельско-городских территорий**

С целью интегральной оценки состояния водных объектов сельско-городских территорий был использован аппарат нечеткой логики, который нашел широкое применение для решения различных задач управления [4]. Для этого параметры, описывающие состояния водных объектов, были разбиты на 3 группы:

- общие физико-химические показатели качества воды (водородный показатель, растворенный кислород, проводимость и т.д.);
- показатели, характеризующие техногенные загрязнения воды (концентрация нефтепродуктов, нитратов, аммония и т.д.).
- микробиологические показатели качества воды (общее микробное число, общие колиформные бактерии и т.д.).

Для каждого параметра были выбраны термы, характеризующие его состояние, и построены функции принадлежности, с помощью которых каждому числовому параметру экологического состояния водных объектов ставится в соответствие степень принадлежности к термам, описывающим этот параметр. Для получения результата от комбинаций элементов лингвистических переменных строится набор условных правил нечеткого логического вывода. Данные правила имеют вид: если «набор условий», то «вывод».

Разработанная модель оценки была реализована с помощью языка программирования С# с использованием библиотеки FuzzyNet для реализации нечеткого вывода, был предусмотрен удобный интерфейс, который позволяет специалисту – эксперту предметной области, не владеющему навыками моделирования и программирования – оперативно проводить оценку экологической ситуации. Также в системе предусмотрена интеграция с ГИС для наглядного отображения результата оценки.

Для проведения лабораторных исследований качества воды использовали приборное оборудование лаборатории НИУ «БелГУ»:

1. Погружной флуориметрический датчик eviroFlu фирмы TriOS, позволяющий измерять концентрации полициклических ароматических углеводородов, различных нефтепродуктов в воде. Действие датчика основано на измерении интенсивности флуоресценции пробы.

2. Погружной датчик OPUS фирмы TriOS, позволяющий измерять параметры качества воды:  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , ХПК, взвешенные вещества при помощи УФ-спектрометрии.

3. Погружной многопараметрический датчик MSM-2, измеряющий основные физико-химических параметров воды: растворенный кислород,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ , проводимость воды, температуру, давление, pH, мутность, ОВП.

4. Оптический эмиссионный спектрометр Shimadzu ICPE-9000, позволяющий проводить химический анализ жидких проб.

Проводились анализы различных видов воды сельско-городских территорий Белгородской области. Пробы принимались как от населения, так и от организаций. Результаты анализов проб из скважин зон индивидуального жилищного строительства показали сильную корреляцию с химическим составом почв.

Также на базе лаборатории с мая 2015 г. проводился еженедельный мониторинг качества воды Ериковского пруда Белгородской области. Проведенные в период с мая до середины июля 2015 г. исследования выявили значительное превышение предельно допустимой концентрации многих измеряемых параметров (нефтепродукты, нитраты, растворенный кислород, аммоний, нитрит, взвешенные вещества). Особенно значительные превышения (в сотни раз) отмечены в этот период по аммонию и нитритам (рис. 2). На основании полученных данных при функционировании системы интеллектуального мониторинга были сформированы рекомендации по улучшению ситуации. В результате, начиная с августа 2015 года, отклонений параметров от нормативов во всех взятых пробах не выявлено (рис. 3).

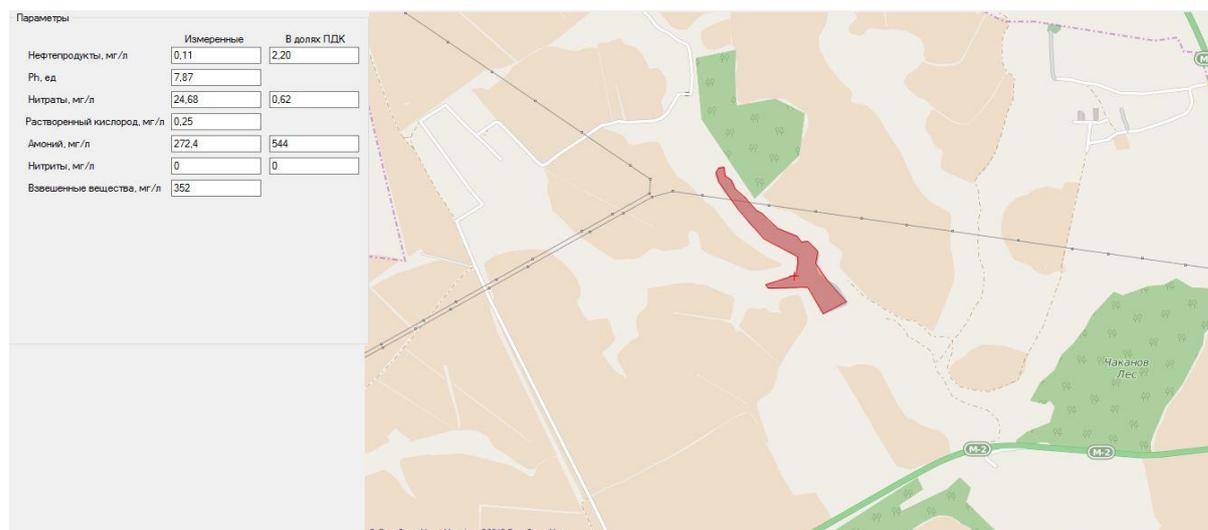
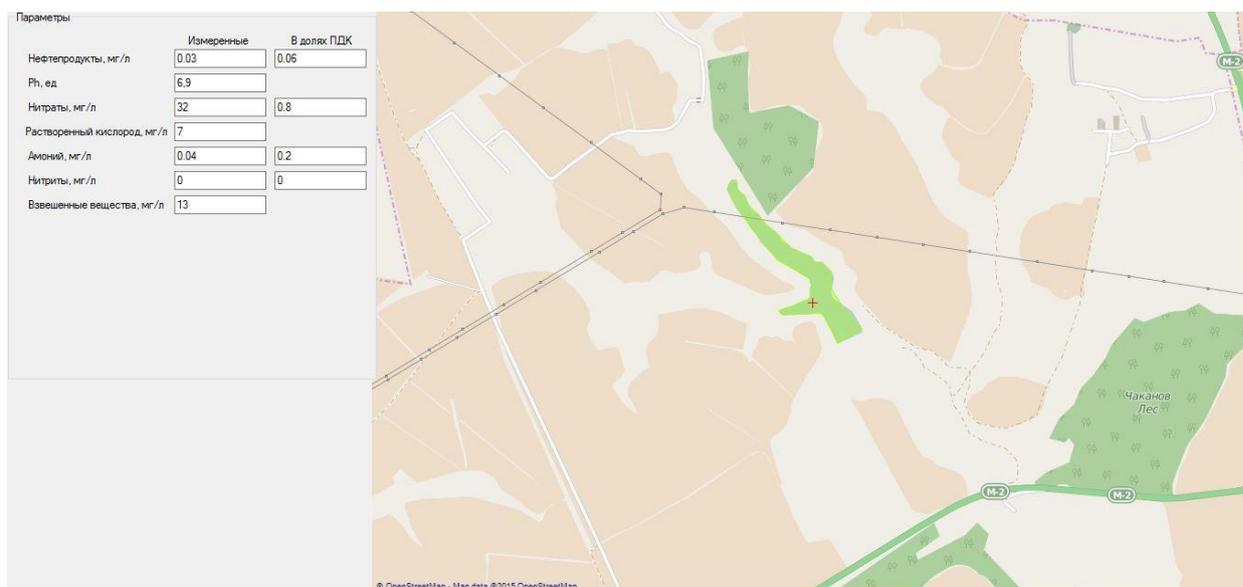


Рисунок 2 – Результаты оценки при функционировании системы интеллектуального мониторинга (Ериковский пруд, май 2015 г.)



**Рисунок 3 – Результаты оценки после реализации управленческих решений (Ерикровский пруд, сентябрь 2015 г.)**

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель системы интеллектуального мониторинга и рекомендации по организации ее практического функционирования могут быть эффективно использованы как для оперативного сбора и анализа экоинформации, проведения оценки текущего состояния водных объектов сельско-городской территории, так и для прогнозирования динамики этого состояния, формирования на данной основе сценариев управления.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежегодник качества поверхностных вод РФ за 2014 год (Опубликовано 23 декабря 2014) [Электронный ресурс]. – URL: <http://gidrohim.com/node/47>.
2. Иващук О.А. Ситуационное моделирование в автоматизированных системах мониторинга и управления экологической безопасностью / О.А. Иващук, О.Д. Иващук, Д.А. Кванин, В.И. Федоров // Информационные системы и технологии, 2015. – № 2(88). – С. 57-64.
3. Иващук О.А., Кванин Д.А. Автоматизированное управление экологической безопасностью локальных городских территорий // Информационные системы и технологии, 2014. – № 4(84). – С. 62-68.
4. Федоров В.И. Комплексная оценка экологической ситуации на локальных урбанизированных территориях // Материалы 8-й Всероссийской мультиконференции 28 сентября-3 октября 2015 г., с. Дивноморское, Геленджик, Россия.

#### **Иващук Орест Дмитриевич**

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород  
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем управления  
Email: [ivaschuk\\_o@bsu.edu.ru](mailto:ivaschuk_o@bsu.edu.ru)

#### **Фёдоров Вячеслав Игоревич**

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород  
Аспирант  
Email: [fedorov\\_v@bsu.edu.ru](mailto:fedorov_v@bsu.edu.ru)

O.D. IVASHhUK (*Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department of Management Information Systems*)

V.I. FYoDOROV (*Post-graduate Professor*)  
*Belgorod National Research University*

**SYSTEM OF INTELLIGENT MONITORING OF WATER BODIES  
OF RURAL-URBAN TERRITORIES**

*The article discusses the approach to the construction of intelligent the water monitoring rural – urban areas. The basic function and structure of the relevant system, the technique of building an integrated assessment of the quality of water bodies rural - urban areas. Some results of the monitoring of water bodies on the basis of the laboratory of Belgorod National Research University*

**Keywords:** *automated control system; data mining; intelligent monitoring; ecological situation.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Ezhegodnik kachestva poverxnostny'x vod RF za 2014 god (Opublikovano 23 dekabrya 2014) [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://gidrohim.com/node/47>.
2. Ivashhuk O.A. Situacionnoe modelirovanie v avtomatizirovanny'x sistemax monitoringa i upravleniya e'kologicheskoy bezopasnost'yu / O.A. Ivashhuk, O.D. Ivashhuk, D.A. Kvanin, V.I. Fedorov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2015. – № 2(88). – S. 57-64.
3. Ivashhuk O.A., Kvanin D.A. Avtomatizirovannoe upravlenie e'kologicheskoy bezopasnost'yu lokal'ny'x gorodskix territorij // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2014. – № 4(84). – S. 62-68.
4. Fedorov V.I. Kompleksnaya ocenka e'kologicheskoy situacii na lokal'ny'x urbanizirovanny'x territoriyax // Materialy' 8-j Vserossijskoj mul'tikonferencii 28 sentyabrya-3 oktyabrya 2015 g., s. Divnomorskoe, Gelendzhik, Rossiya.

**КОНЦЕПЦИЯ КРОСС-ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА ИНФОРМАЦИИ**

*В данной статье показана актуальность темы облачных хранилищ в ближайшее десятилетие, приводится базовая модель функционирования классического хранилища, демонстрируется концепция хранения данных в кросс-облачном пространстве, реализуемом у пользователя на основе провайдеров облачных услуг, описываются преимущества и перспективы его использования.*

**Ключевые слова:** *облачные технологии; хранилища данных; облачные хранилища; концепция; кросс-облачность; мультиоблачность.*

**ВВЕДЕНИЕ.****АКТУАЛЬНОСТЬ ОБЛАЧНЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ**

Большинство аналоговых носителей и средств передачи информации уходят в прошлое. Однако цифровая эпоха не означает отказ от аналоговых технологий. Человек воспринимает информацию с помощью своих органов чувств, поэтому такие носители информации, как книги, рукописи и т.п., сохраняются, несмотря ни на что. Цифровая эпоха, в свою очередь, предполагает увеличение объема передаваемой и хранимой информации. Примером этому может служить совокупный мировой объем носителей информации. В 1986 году он составлял 2,6 эксабайта, в 1993 году – уже 15,8, в 2000 году – более 54,5, а в 2007 году он вырос до внушительных 295 эксабайтов [1]. Конечно, данная статистика учитывает и аналоговые носители (магнитные ленты, видеокассеты и т.п.), не принимая во внимание их заполнение и хранение на них идентичных данных. Однако она хорошо демонстрирует повышение спроса на носители информации.

Данное направление актуально практически во всех сферах человеческой деятельности, поскольку документооборот и взаимодействие между субъектами правовых отношений осуществляется повсеместно. Например, в рамках реализации электронных услуг населению (ЭУН) возникает потребность в надежном и безопасном хранилище информации. В [2] показано, что система управления ЭУН неразрывно связана со специализированными базами данных, содержащих сведения о типовых, новых и уже реализованных электронных услугах. Доступ к такой информации в соответствии с принципами, изложенными в [3], может быть реализован с использованием облачных хранилищ.

В ближайшие годы объемы передаваемой и хранимой информации будут только увеличиваться, причем в геометрической прогрессии. Согласно данным исследования, проведенного аналитической фирмой International Data Corporation (IDC) [4], специализирующейся на исследовании рынка информационных технологий, совместно с одной из крупнейших в мире корпораций на рынке продуктов, услуг и решений для хранения и управления информацией EMC Corporation, объемы информации удваиваются каждые два года. В результате этого объем информации, которая создается или копируется ежегодно, увеличится с 4,4 зеттабайт в 2013 году до 44 зеттабайт в 2020 году. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, увеличением числа пользователей сети Интернет и, соответственно, увеличением обмена сообщениями между ними. Во-вторых, появлением и распространением так называемых «интернет-вещей». IDC характеризует «интернет-вещи» как устройства, соединенные с сетью (проводным или беспроводным способом) для автоматического обеспечения, управления и мониторинга [5]. Примером «интернет-вещи» могут служить умные часы, которые при их использовании собирают информацию о физиологических параметрах своего владельца для последующего анализа. При этом получаемые такими устройствами данные не могут сохранять только локально на их внутренних носителях информации. Вся суть «интернет-вещей» заключается в том, что пользователь при желании может обратиться к ним в любое время и из любой точки мира

через сеть Интернет для получения актуальных показателей. Таким образом, рост объемов генерируемых данных при их массовом распространении ожидается резко ускорится.

В любом случае облачные хранилища данных могут помочь справиться с проблемой постоянно увеличивающегося объема хранимой информации, поскольку в результате централизованного хранения информации они позволяют уменьшить фактически используемое пространство носителей и повысить доступность информации из любой точки мира. Облачное хранилище в базовом случае предоставляет весьма надежный (защищенный от потери или повреждения данных) способ сохранения важной для человека информации с возможностью удаленного доступа, поэтому его пользователю нет необходимости во множественном копировании файлов при переносе или «на всякий случай». Кроме того, внедрение механизма дедупликации, основанного на хранении одних и тех же данных разных пользователей только в единственном экземпляре, также способствует решению данной проблемы.

### ОПИСАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ОБЛАЧНОГО ХРАНИЛИЩА

В широком смысле под облачными технологиями понимается продукт или сервис, не имеющей реализации [6], т.е. его функционирование опускается из рассмотрения ввиду сложности и отсутствия влияния на применение данной технологии. Облачное хранилище – это сетевое приватное или публичное хранилище информации с авторизованным доступом через определенные протоколы (например, CIFS, CDMI) и/или программное обеспечение (веб-сайт, специально разработанное приложение). В общем случае его функционирование можно представить в виде модели, изображенной на рисунке 1.

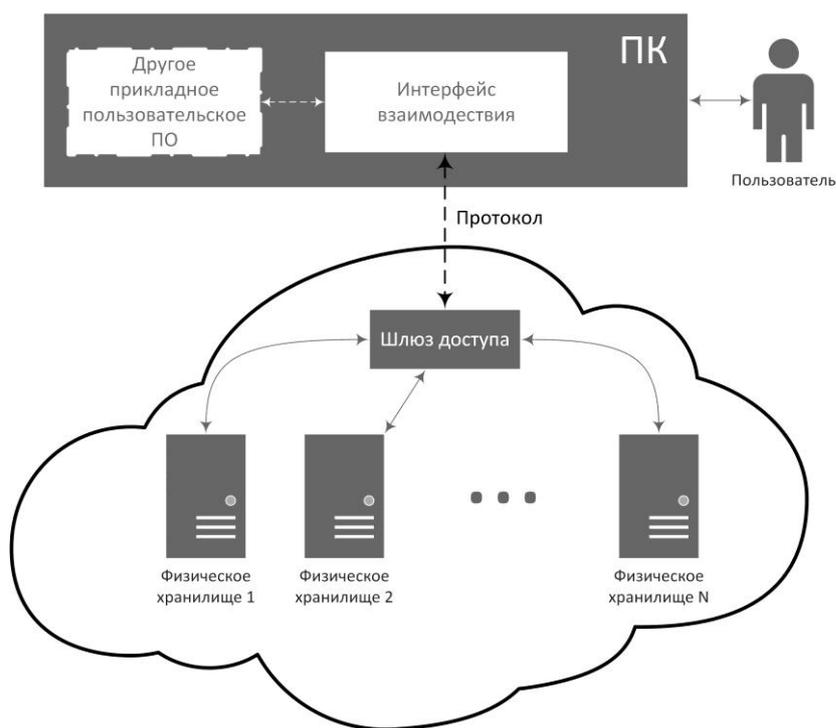


Рисунок 1 – Базовая модель функционирования облачного хранилища

Облачное хранилище изображено в качестве кластера носителей информации, взаимодействующих со шлюзом доступа, задачей которого является определение местоположения и предоставление запрошенных пользователем данных. В свою очередь, в пользовательской системе требуется наличие интерфейса взаимодействия, т.е. программного обеспечения, реализующего протокол или иной способ взаимодействия со шлюзом доступа и при этом предоставляющего пользователю хранящиеся данные в интуитивно понятном и простом в использовании виде. Применяемый для взаимодействия протокол обычно основывается на HTTP/HTTPS.

Такая модель показала свою эффективность, но она вводит ряд допущений, основанных на сокрытии реализации облачного хранилища: ограничение скорости, объем предоставляемого пространства, доверие к добросовестности провайдера облачных услуг (использование им данных пользователей в своих целях), предоставляемый функционал (версионность, резервное копирование и т.п.), надежность от потери или повреждения информации, защита от взлома. Термин «облачный» подразумевает сокрытие реализации системы и места положение хранимых данных как излишней для пользователя информации. Этим злоупотребляют поставщики облачных услуг, поскольку можно позиционировать себя как защищенное и безопасное хранилище данных, не имея на это никаких реальных оснований. Проверить справедливость такого рода рекламы для пользователя не представляется невозможным. В то же время атаки злоумышленников, подтверждающие иное заявленным достоинствам, вызывают только раздражение от «непрозрачности» функционирования облачных решений.

### КРОСС-ОБЛАЧНОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ

Решение проблем скрытой реализации представляется возможным только один путем – предоставлением возможности создания своего персонального облачного хранилища на основе имеющихся провайдеров облачных услуг. При этом пользователь сам выбирает его функционал, степень защиты и надежности, источники доступного пространства и, самое главное, цель (для достижения максимальной скорости или максимального объема хранимых данных). Такое хранилище может называться кросс-облачным, поскольку его кластер носителей состоит из готовых облачных решений, чьи характеристики уже не имеют весомого значения.

Модель функционирования облачного хранилища второго уровня представлена на рисунке 2.

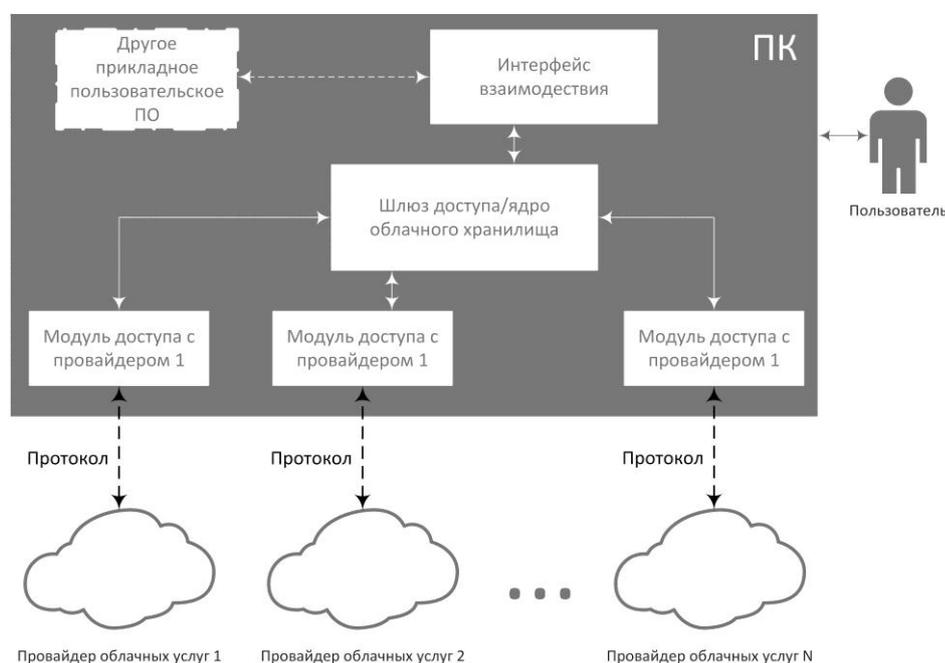


Рисунок 2 – Модель функционирования облачного хранилища второго уровня

Для взаимодействия со шлюзом доступа существующих хранилищ требуется реализация соответствующего протокола обмена данными и информация, требующаяся для прохождения процесса авторизации. За выполнение данной задачи отвечает соответствующий модуль взаимодействия. Далее пользовательский шлюз доступа, оперируя имеющимися модулями и настройками, формирует виртуальное хранилище, доступ к которому осуществляется с помощью интерфейса взаимодействия, аналогичного предоставляемым обычным провайдером облачных услуг.

Инфраструктура классического облачного хранилища предполагает распределение носителей информации для повышения надежности системы на случаи поломок оборудования и ошибок. Однако такая схема не учитывает возможные проблемы соединения пользователя со шлюзом доступа, например, из-за повреждения магистральной линии связи. В то время как отсутствие доступа к данным для конечного пользователя равноценно отсутствию самих данных [7], потеря соединения пользователя с провайдером облачных услуг не столь катастрофична при использовании кросс-облачного пространства. В некоторых случаях данная проблема может остаться незамеченной пользователем при наличии дубликации данных между различными провайдерами. Альтернативным вариантом является резервное копирование всех данных, имеющихся у пользователя в облачном хранилище, в локальную клиентскую систему. Данная синхронизация, несомненно, является чрезмерной как с точки зрения занимаемого дискового пространства, так и с точки зрения затрачиваемого времени на выполнение данной операции.

Сервис облачного хранения данных позиционируется как SaaS-решение, т.е. это бизнес-модель, при которой провайдер предоставляет пространство инфраструктуры хранения цифровой информации на основе подписки на услугу [8]. Пользователь, оплачивая доступ к облачному хранилищу, вправе использовать его для хранения любой информации, т.е. никто не запрещает ему, например, разделить файл на несколько частей или дополнительно зашифровать его от доступа третьим лицам. При этом формирование хранилища на основе других хранилищ дает возможность построения на их основе RAID-массивов, увеличивающих объем, повышающих скорость или повышающих надежность конечного хранилища информации.

Например, формирование облачного хранилища в кросс-облачном пространстве на базе носителей, организованных в виде RAID 0, позволяет пользователю объединить всех своих провайдеров услуг хранения данных в единое виртуальное хранилище, которое к тому же повысит скорость записи за счет чередования выполнения данной операции между составными источниками дискового пространства. RAID 1, применяемый в виртуальном хранилище, повышает надежность хранения за счет дублирования всего хранящегося объема данных на каждом задействованном хранилище. Кроме того, RAID 1 в данном применении позволяет повысить скорость чтения, если допустить возможность одновременного запроса необходимых данных у всех составных источников дискового пространства. В этом случае увеличится нагрузка на каналы связи и объемы передаваемой информации. Однако в сравнении с использованием RAID-массивов на локальных жестких дисках заполнение канала передачи данных имеет менее значимую роль, нежели скорость получения запрошенного. Во-первых, это связано с большими временными задержками, требуемыми для выполнения данной операции, и, как следствие, продолжительным временем отклика на действия пользователя, которое им может интерпретироваться как проблемы функционирования системы. Во-вторых, в общем случае предполагается наличие разнотипных хранилищ в кросс-облачном пространстве, из-за чего возникает большая разница в скорости доступа к ним.

В [9] представлена методика использования функциональных кодов восстановления с минимальным хранением (FMSR), которые подобны построению отказоустойчивого массива RAID-6, но с применением меньшего объема трафика. Задействование представленной технологии обеспечит информационное хранилище в кросс-облачном пространстве возможностью воссоздания утраченных данных при потере доступа к одному из базовых хранилищ.

Безопасность хранимой информации в предлагаемой концепции возможна за счет как только фрагментирования информации между провайдерами облачных услуг, так и фрагментирования с шифрованием для уменьшения вероятности использования данных злоумышленниками. Шифрование уменьшит скорость обработки передаваемых данных, но при этом лишит доступа к хранящейся метainформации, с помощью которой можно восстановить хотя бы частично пользовательские файлы.

В любом случае для формирования кросс-облачного пространства от пользователя требуется составление его конфигурации, которая включает в себя следующую информацию:

- 1) Какие облачные хранилища необходимо взять в качестве источников дискового пространства?
- 2) Как следует распределять (получать и считывать) информацию между ними?
- 3) Какими средствами безопасности надо пользоваться при этом (алгоритм шифрования и ключи)?

Ответы на данные вопросы однозначно определяют уникальную структуру кросс-облачного пространства пользователя. При этом третьи лица, среди которых могут быть сотрудники провайдера облачных услуг, хакеры или прослушивающие каналы связи злоумышленники, не могут получить доступ к хранимой информации, поскольку им неизвестна данная конфигурация. Негативной стороной кросс-облачного пространства является то, что при потере этой конфигурации самим пользователем он также не сможет восстановить доступ к своим данным.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Облачные хранилища, реализуемые у пользователей и самими пользователями, являются перспективным направлением развития облачных технологий, в том числе в процессе реализации электронных услуг населению. Целесообразность проведения дальнейших исследований в данной области и развития предложенной концепции подтверждается наличием высокого спроса на услуги облачного хранения данных, падением доверия к их провайдерам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hibert M., López P. The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information // *Science*, 2011. – Vol. 332. – № 6025. – P. 60-65.
2. Волков В.Н., Загрядцкий В.И., Фролов А.И. Автоматизация построения регламентов электронных услуг населению // *Информационные системы и технологии*, 2012. – №3. – С. 5-9.
3. Константинов И.С., Волков В.Н., Стычук А.А. Анализ и обобщение принципов организации обслуживания населения с применением технологии удаленного доступа // *Информационные системы и технологии*, 2011. – № 5(67). – С. 78-85.
4. Executive Summary [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/executive-summary.htm>.
5. The Internet of Things [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/internet-of-things.htm>.
6. Schulz G. *Cloud and Virtual Data Storage Networking*. – CRC Press, 2011. – 400 p.
7. Лупандин А.А. Построение взаимодействия пользователя с сервисом облачного хранения данных // *Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП)*. Материалы VI Международной научно-технической конференции, 2014. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК».
8. Лупандин А.А. Организация взаимодействия пользователя с сервисом облачного хранения данных // XXIII Международный научно-технический семинар «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». – Сборник трудов, 2014. – Алушта. – 40 с.
9. Chen H. NCCloud: A Network-Coding-Based Storage System in a Cloud-of-Clouds / H. Chen, Y. Hu, P. Lee, Y. Tang // *IEEE Transactions on Computers (TC)*, 2014. – № 63(1). – P. 31-44.

**Лупандин Александр Александрович**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел

Аспирант

Тел.: 8 920 809 74 10

E-mail: shurik.lupandin@yandex.ru

**Волков Вадим Николаевич**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 (4862) 43-49-56

E-mail: vadimvolkov@list.ru

---

A.A. LUPANDIN (*Post-graduate Student*)

V.N. VOLKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department «Information systems»  
Prioksky State University, Orel*)

### THE CONCEPT OF CROSS CLOUD DATA STORAGE

*In given article authors show the relevance of the topic of cloud storage at the next decade, provide the base model of the classic cloud data storage, demonstrate the concept of crosscloud data storage, implemented by the user-based cloud provider, and describe advantages and disadvantages of its use.*

**Keywords:** *cloud technology; data storage; cloud data storage; concept; crosscloud; multiple-cloud.*

### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Hibert M., López P. The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information // *Science*, 2011. – Vol. 332. – № 6025. – P. 60-65.
2. Volkov V.N., Zagryadckij V.I., Frolov A.I. Avtomatizaciya postroeniya reglamentov e'lektronny'x uslug naseleniyu // *Informacionny'e sistemy' i texnologii*, 2012. – №3. – S. 5-9.
3. Konstantinov I.S., Volkov V.N., Sty'chuk A.A. Analiz i obobshhenie principov organizacii obsluzhivaniya naseleniya s primeneniem texnologii udalennogo dostupa // *Informacionny'e sistemy' i texnologii*, 2011. – № 5(67). – S. 78-85.
4. Executive Summary [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/executive-summary.htm>.
5. The Internet of Things [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/internet-of-things.htm>.
6. Schulz G. Cloud and Virtual Data Storage Networking. – CRC Press, 2011. – 400 p.
7. Lupandin A.A. Postroenie vzaimodejstviya pol'zovatelya s servisom oblachnogo xraneniya danny'x // *Informacionny'e texnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve (ITNOP)*. Materialy' VI Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoy konferencii, 2014. – Орел: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK».
8. Lupandin A.A. Organizaciya vzaimodejstviya pol'zovatelya s servisom oblachnogo xraneniya danny'x // XXIII Mezhdunarodny'j nauchno-texnicheskij seminar «Sovremenny'e texnologii v zadachax upravleniya, avtomatiki i obrabotki informacii». – Sbornik trudov, 2014. – Alushta. – 40 s.
9. Chen H. NCCloud: A Network-Coding-Based Storage System in a Cloud-of-Clouds / H. Chen, Y. Hu, P. Lee, Y. Tang // *IEEE Transactions on Computers (TC)*, 2014. – № 63(1). – P. 31-44.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФОВ КОНТАКТОВ УЧАСТНИКОВ ВИРТУАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ»

*В статье описываются алгоритмы автоматизированного поиска информации о контактах определенного участника виртуальной социальной сети «ВКонтакте», обладающего персональным идентификатором, выявления связей между множеством найденных контактов и построения социального графа. Поиск информации ведется по ключевым словам и словоформам на страницах участников виртуальных социальных сетей, а также по «стене» – данным, выкладываемым этими участниками на всеобщее обозрение, и комментариям. Особенностью данной программы является заложенный в ее основу алгоритм визуализации графа, основанный на физике частиц с гравитационным полем вокруг каждого узла, а механизм связей реализован по принципу пружин. Полученные результаты также можно сохранить в виде списка контактов.*

**Ключевые слова:** виртуальные социальные сети; алгоритм; граф; визуализация; поиск информации.

### ВЕДЕНИЕ

Виртуальные социальные сети представляют собой многопользовательские интернет-сайты, наполнение которых контентом осуществляют сами участники этих сетей, связанных общими интересами, общим делом или иными мотивами для непосредственного общения между собой, создавая внутри сетей открытые и закрытые сообщества. Число таких сообществ, создаваемых по различным темам и интересам, а также их участников растет с каждым днем. Одни из этих сообществ позволяют их участникам получать новую для них информацию, но есть среди виртуальных сетевых сообществ и такие, в которых оказывается деструктивное воздействие на их участников. Среди последних особо выделяются сообщества, в которых пропагандируется употребление наркотиков и осуществляется их распространение, осуществляются такие виды деструктивных воздействий, как склонение к суициду, вовлечение в секты, террористические организации.

Для выявления источников деструктивных воздействий в самой популярной в России виртуальной социальной сети «ВКонтакте» разрабатывается автоматизированная информационная система мониторинга активности участников этой сети, одним из компонентов которой является программа автоматизированного построения социального графа контактов участников виртуальных социальных сетей [1].

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАФОВ КОНТАКТОВ

Для формализованного представления виртуальных социальных сетей традиционно используется хорошо развитый аппарат теории графов. При этом граф  $G = (V, E)$  сети задается множеством узлов  $V \in v_i = \{a_{ij} \mid i = \overline{1, B}, j = \overline{1, A}\}$ , представляющих профили участников сети с различными атрибутами (например, имя, фамилия, город и др.), и множеством ребер  $E = \{e_{i' i''}\}$  – социальными связями между участниками сети.

Такой граф (часто его называют социальным графом) позволяет получить наиболее полную информацию об участнике виртуальной социальной сети и его контактах, так как граф достаточно полно характеризует личность этого участника, его интересы и взаимосвязи.

Для социальных графов характерны следующие особенности:

- 1) взаимоотношения – отображают характер взаимоотношений между социальными объектами;
- 2) связи – отображают особенности как для отдельных социальных объектов, так и для графа в целом;

3) сегментация – отображает характеристики социального графа, поделенного на сегменты (кластеры), которые обладают отличительными особенностями.

Использование социальных графов позволяет решать следующие задачи:

1) идентификация участников виртуальных социальных сетей – обнаружение профилей, принадлежащих одному человеку, в нескольких виртуальных социальных сетях;

2) социальный поиск – поиск участников виртуальных социальных сетей, их данных, их записей и т.д., основанный на анализе набора связей, в которых находятся искомые объекты;

3) выявление регулярных контактов между участниками сети, то есть родственников, близких друзей, коллег по работе, увлечениям и т.п.;

4) сбор информации – построение социального графа на основе данных, полученных в результате сканирования страниц различных виртуальных социальных сетей.

Обработка данных социальных графов связана с рядом таких проблем, как, например, различия ресурсов, поддерживающих функционирование разных виртуальных социальных сетей, закрытость, а иногда и сознательное искажение персональных данных со стороны отдельных участников таких сетей.

### **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНЫХ ГРАФОВ**

Существует множество приложений для визуализации различных графов, в том числе и социальных. Анализ этих приложений, приведенный в [2], позволил выявить их основные недостатки:

1) значительный объем ручной работы по подготовке к вводу данных, обычно представляемых в виде списков, матриц, листов узлов и граней. То есть в них отсутствует возможность поиска программой узлов и связей между ними прямо из социальных сетей, что влечет за собой затраты времени на подготовку исходных данных;

2) отсутствие возможности построения графов в режиме реального времени, что не позволяет получать информацию о людях, кроме той, которая была введена изначально;

3) отсутствие возможности фильтрации по страницам пользователей в социальных сетях.

В качестве аналога рассмотрим сайт <http://www.yasiv.com/vk>, который больше похож на систему построения участников социальных сетей, чем все остальные. Этот сайт предоставляет его посетителям следующие возможности:

1) построение социального графа по идентификатору определенного человека в социальной сети «ВКонтакте»;

2) быстрый просмотр информации о выбранном человеке;

3) поиск человека по имени или фамилии;

4) изменение цвета узла в зависимости от пола человека.

Анализ функциональных возможностей этого сайта позволил выявить следующие недостатки:

1) сайт развивается крайне медленно и многие функции еще не реализованы;

2) отсутствует возможность фильтрации;

3) отсутствует возможность поиска по ключевым словам на странице пользователей;

4) для работы необходима авторизация с аккаунта «ВКонтакте»;

5) граф строится только на основе списка друзей авторизованного пользователя;

6) плохая совместимость со старыми браузерами из-за использования библиотеки WebGL.

### **ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБАТЫВАЕМОМУ ПРИЛОЖЕНИЮ**

Для решения указанных выше задач построения и анализа графов участников виртуальной социальной сети, а также выявленных недостатков существующих аналогов, разрабатываемое приложение должно обеспечивать реализацию следующих функций:

- поиск и нахождение информации о друзьях по определенному идентификатору пользователя социальной сети «ВКонтакте»;
- определение связей между друзьями, построение и визуализация графа на основе полученных данных в режиме реального времени;
- возможность фильтрации данных на основе ключевых слов, по которым будет произведен поиск на страницах участников социальных сетей, а именно – поиск по анкетными данным (имя, фамилия, ник, дата рождения и т.п.), поиск по «стене» (данные, которые пользователь выкладывает на всеобщее обозрение, а также его комментарии и комментарии других людей на его странице);
- возможность просмотра полученных данных в виде списка, изменение списка в соответствии с найденными ключевыми словами, а также сохранение всего списка в txt файл;
- работа пользователя в интерактивном режиме с построенным графом, а именно – возможность перемещения узлов, подсвечивание связей и изменение размеров графа.

### **ОПИСАНИЕ ПРОФИЛЕЙ УЧАСТНИКОВ ВИРТУАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ «ВКОНТАКТЕ»**

С точки зрения интеллектуального анализа данных виртуальная социальная сеть представляет собой гетерогенный мультиреляционный массив данных, представленный в виде графа. Поэтому для исследования структуры виртуальной социальной сети могут быть использованы алгоритмы кластерного анализа, реализованные в [3], позволяющие разбивать узлы сети, представляемые объектами, на классы, основываясь на их связях так же, как и на их атрибутах.

При анализе наиболее популярной в России виртуальной социальной сети «ВКонтакте» участники этой сети были представлены в качестве объектов Participant, обладающих следующими атрибутами:

- 1) стандартные поля:
  - id (идентификатор);
  - first\_name (имя);
  - last\_name (фамилия);
  - deactivated (возвращается в случае, если страница участника удалена);
  - hidden (возвращает единицу, если страница участника скрыта от посторонних);
- 2) дополнительные поля:
  - photo\_id (идентификатор фотографии участника);
  - verified (возвращает единицу, если страница участника верифицирована, или ноль, если страница не верифицирована);
  - blacklisted (возвращает единицу, если текущий участник находится в черном списке у запрашиваемого участника);
  - sex (пол участника: 1 – женский, 2 – мужской, 0 – пол не указан);
  - bdate (дата рождения);
  - city (содержит два поля: id – идентификатор города и title – название города);
  - country (содержит два поля: id – идентификатор страны и title – название страны);
  - home\_town (родной город участника);
  - photo\_50 (фотография участника шириной 50 пикселей);
  - photo\_100 (фотография участника шириной 100 пикселей);
  - photo\_200 (фотография участника шириной 200 пикселей);
  - photo\_max (фотография участника без ограничений в ширине);
  - online (возвращает 1, если пользователь находится в данный момент на сайте «ВКонтакте», иначе 0);
  - lists (идентификаторы списков друзей);
  - domain (адрес страницы участника);

- has\_mobile (возвращает 1 – если номер мобильного телефона известен, 0 – если неизвестен);
- contacts (номер мобильного телефона участника);
- site (указанный сайт в профиле участника);
- education (информация о высшем учебном заведении участника);
- universities (список высших учебных заведений);
- schools (список школ);
- status (статус участника);
- last\_seen (время, когда участник был в последний раз в сети);
- followers\_count (количество подписчиков участника);
- common\_count (количество общих друзей с текущим участником);
- counters (количество различных объектов у участника, а именно: фотоальбомы, видеозаписи, аудиозаписи, друзья, группы и др.);
- occupation (род занятий участника);
- nickname (ник или отчество участника);
- relatives (список родственников участника);
- relation (семейное положение: 1 – не женат/не замужем, 2 – есть друг/подруга, 3 – помолвлен/помолвлена, 4 – женат/замужем, 5 – все сложно, 6 – в активном поиске, 7 – влюблен/влюблена, 0 – не указано);
- personal (информации из раздела «жизненная позиция»);
- wall\_comments (1 – комментирование стены доступно, 0 – недоступно);
- activities (деятельность участника);
- interests (интересы);
- music (любимая музыка);
- movies (любимые фильмы);
- books (любимые книги);
- games (любимые игры);
- about (сведения, представленные участником о себе);
- quotes (любимые цитаты);
- timezone (временная зона участника);
- is\_friend (является ли другом);
- friend\_status (статус дружбы с участником);
- maiden\_name (девичья фамилия участника).

## **ОСНОВНЫЕ АЛГОРИТМЫ.**

### **АЛГОРИТМ ПОИСКА ПО АНКЕТНЫМ ДАННЫМ**

Блок-схема алгоритма поиска участников сети «ВКонтакте» по их анкетным данным представлена на рисунке 1.

Если введено ключевое слово в поле «Поиск по анкетным данным», то запускается функция, которая посылает запрос на сервер «ВКонтакте» с помощью модуля Open API для каждого узла графа (друга). Запрос представляет собой метод users.get с введенным идентификатором в качестве параметра, а также полями «Имя», «Фамилия», «Дата рождения», «Родной город», «Адрес страницы», «Контакты», «Сайт», «Ник или отчество», «Увлечения», «Интересы», «О себе». В результате метод users.get вернет список друзей с их именами, фамилиями и другими данными, перечисленными выше.

Данный список записывается в строку и затем осуществляется поиск ключевого слова по этой строке. Если совпадение с ключевым словом не будет найдено, то соответствующий узел удаляется из графа и запускается функция визуализации графа.

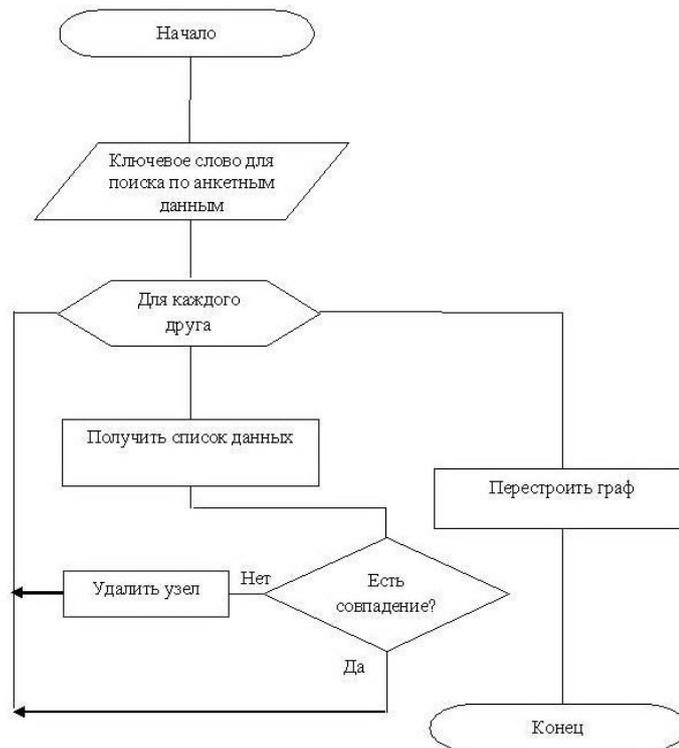


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма поиска участников сети по их анкетным данным

#### АЛГОРИТМ ПОИСКА ПО «СТЕНЕ»

Блок-схема алгоритма поиска участников сети «ВКонтакте» по «стене» – данным, выкладываемым этими участниками на общее обозрение, и комментариям – представлена на рисунке 2.

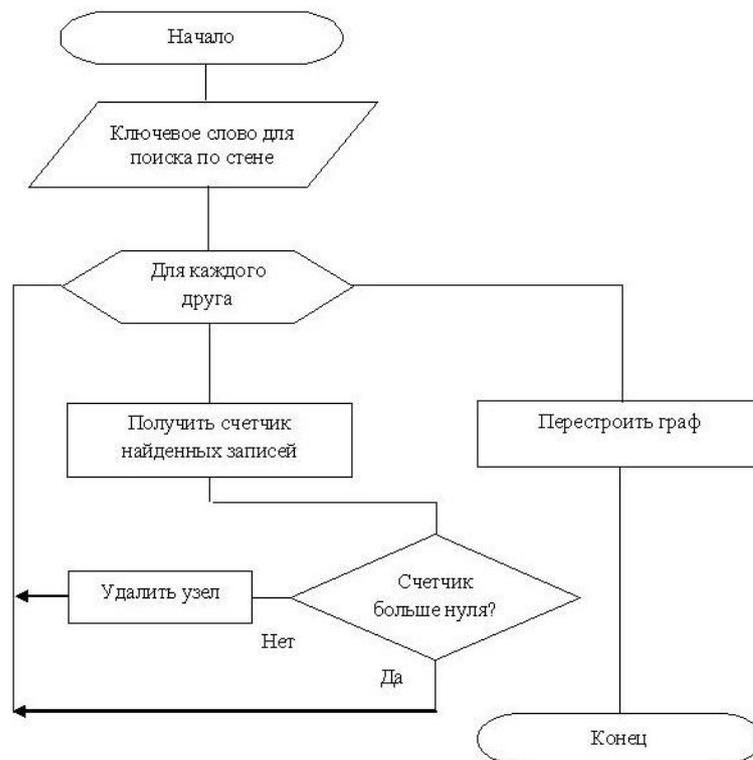


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма поиска участников сети по «стене»

Если введено ключевое слово в поле «Поиск по стене», то запускается модуль, отправляющий запрос на сервер «ВКонтакте» для каждого друга. Запрос представляет собой

метод `wall.search` с введенным идентификатором в качестве параметра, а также ключевым словом для поиска. Данный метод позволяет осуществить поиск ключевого слова на странице определенного участника сети среди его записей и среди комментариев к его записям. В результате метод `wall.search` вернет счетчик найденных записей, а также сами записи, где встречается ключевое слово. Если счетчик записей больше нуля, то соответствующий узел удаляется из графа и граф начинает строиться заново.

### АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФА

Блок-схема алгоритма построения графа участников сети «ВКонтакте» по результатам поиска представлена на рисунке 3.

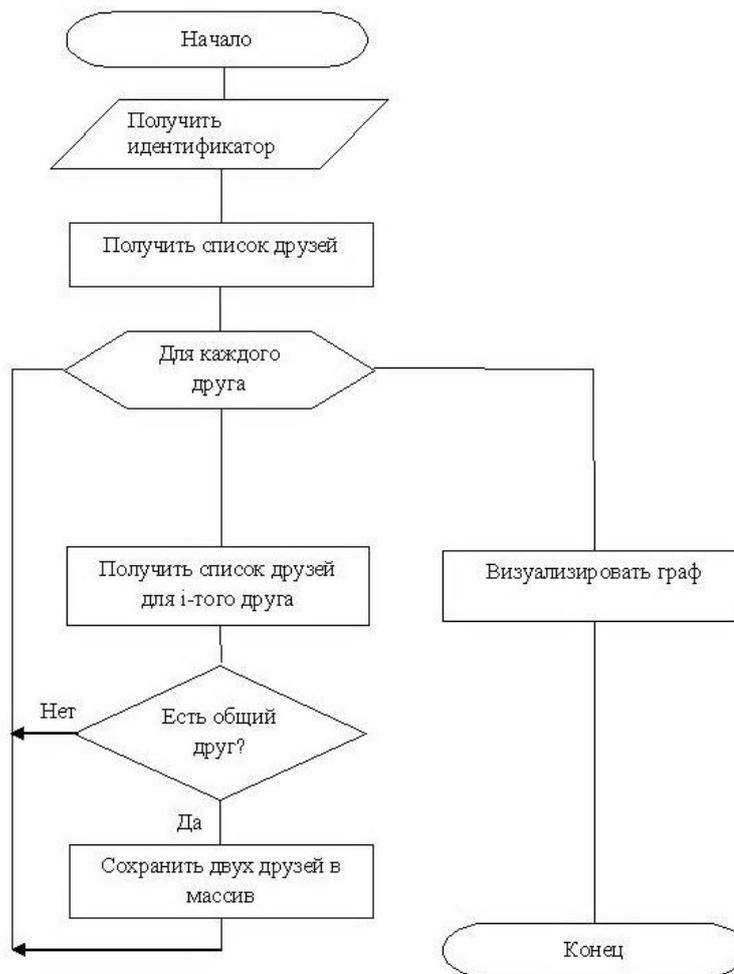


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма построения графа

Для построения и визуализации графа контактов необходимо ввести только идентификатор пользователя социальной сети «ВКонтакте» и отправить запрос на сервер «ВКонтакте» с помощью модуля `Open Api`. Запрос представляет собой метод `friends.get` с введенным идентификатором в качестве параметра, а также полями «Имя», «Фамилия», «Фотография». В результате метод `friends.get` вернет список идентификаторов друзей с их именами, фамилиями и фотографиями. Разбирая данный список необходимо записать все полученные данные в массив `nodes`, который содержит поля `ID`, `Label`, `Image`. Данный массив будет использоваться для визуализации графа.

После этого необходимо вызвать метод `friends.get` для каждого из найденных друзей с целью поиска связей между ними. Каждый полученный список сравнивается на наличие совпадений с первым списком друзей, и если будет найдено совпадение, то данное совпадение записывается в массив `edges`, который содержит поля `from` и `to`, при условии, что данное совпадение еще не было записано.

После создания сформировавшихся массивов для узлов графа (nodes) и его ребер (edges) вызывается функция визуализации графа, которая строит граф на основе данных находящихся в массивах nodes и edges, с использованием подключенной библиотеки vis.js, предназначенной для визуализации различных графов и графиков.

При использовании фильтрации пользователь вводит ключевые слова в одно из двух полей: «Поиск по анкетным данным» или «Поиск по стене».

### АЛГОРИТМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФА

Алгоритм визуализации графа основан на физике частиц с гравитационным полем вокруг каждого узла, а механизм связей реализован по принципу пружин. Алгоритм физики частиц был создан в 1986 году специалистами по компьютерным симуляциям Джошем Барнсом и Питом Хатом [4] и получила название TreeCode.

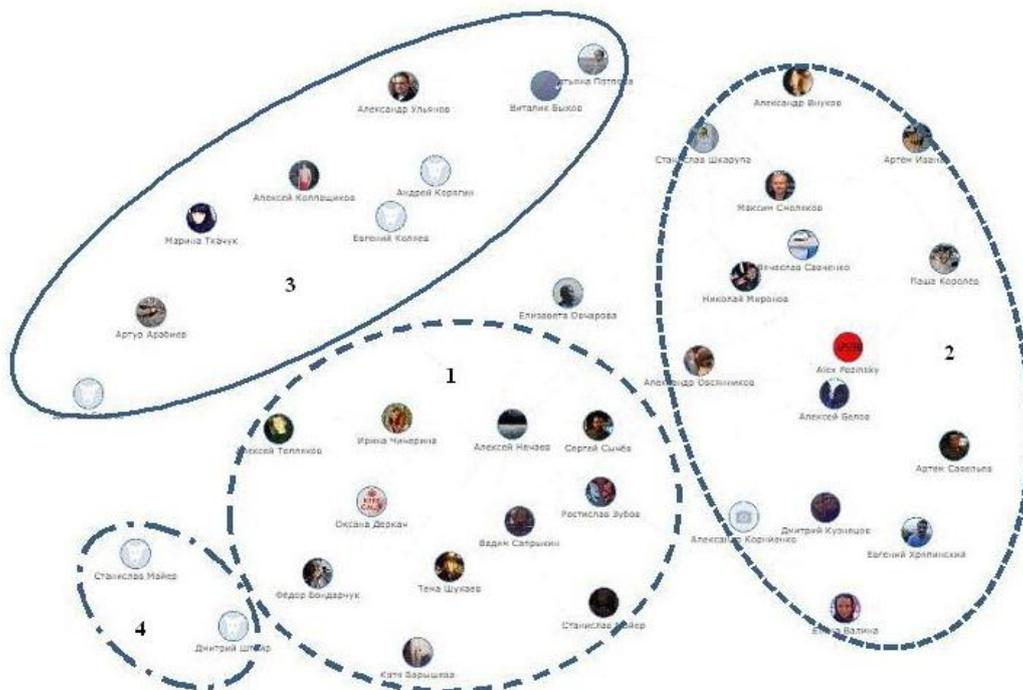
В данном алгоритме пространство подразделяется на области, в которых учитывалось взаимное расположение частиц. В результате получается иерархическая структура в виде дерева, которая используется для группировки частиц в виде кластеров программами [1, 3].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описываемые в данной работе алгоритмы обработки информации для построения и визуализации графов контактов участников виртуальной социальной сети «ВКонтакте» были реализованы в программах [1, 3] в виде web-приложений, позволяющих находить информацию о друзьях по идентификатору контролируемого участника сети, находить связи между его друзьями и строить социальный граф на основе полученных данных.

На рисунке 4 приведен пример графа контактов, полученный в результате работы указанных программ, на котором выделены четыре кластера, выявленные по признаку «частота контактов»:

- 1 – еженедельные контакты;
- 2 – контакты, осуществляемые с периодичностью не реже одного раз в месяц;
- 3 – контакты, осуществляемые с периодичностью не чаще, чем один раз в месяц;
- 4 – контакты, осуществляемые с периодичностью реже, чем один раз в три месяца.



*Рисунок 4 – Пример социального графа, полученного в результате работы комплекса программ [1, 3]*

Для обеспечения возможности работы с комплексом программных средств пользователям, не являющимися профессионалами в области информационных технологий, в нем предусмотрено наличие интерактивных подсказок.

В настоящее время программы [1, 3] проходят апробацию в ряде уполномоченных организаций в составе прототипа информационной системы идентификации лиц, причастных к сфере незаконного оборота наркотических средств и психотропных веществ, практическое использование которой показало эффективность разработанных алгоритмов. При этом используется база данных жаргона, используемого в этой сфере, описание которого приведено в работе [5].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа автоматизированного построения социального графа контактов участников виртуальных социальных сетей: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015660019 / Ю.Б. Савва; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК» (RU). – № 2015616927; заявл. 28.06.2015; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 21.09.2015. – 1 с.
2. Прохоров А., Ларичев Н. Компьютерная визуализация социальных графов // Компьютер пресс [Электронный ресурс]. – URL: <http://compress.ru/Article.aspx?id=16593> (дата обращения: 10.01.2016).
3. Савва Ю.Б. Программа кластеризации и шкалирования нечетких данных: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015612445 Российская Федерация / Ю.Б. Савва; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК» (RU). – № 2014663471; заявл. 23.12.2014; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 18.02.2015. – 1 с.
4. Barnes J., Hut P. A hierarchical  $O(N \log N)$  force-calculation algorithm. – Nature, 1986. – № 4(324). – P. 446-449.
5. Савва Ю.Б., Еременко В.Т., Давыдова Ю.В. О проблеме лингвистического анализа сленга в задаче автоматизированного поиска угроз распространения наркомании в виртуальных социальных сетях // Информационные системы и технологии, 2015. – № 6(92). – С. 68-75.

#### Савва Юрий Болеславович

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»  
Тел.: 8 906 569 92 20  
E-mail: su\_fio@mail.ru

---

Yu.B. SAVVA (*Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor of the Department «Information Systems»  
Prioksky State University, Orel*)

#### DEVELOPMENT OF ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING FOR THE CONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF GRAPHS COMMUNICATION BETWEEN PARTICIPANTS OF THE VIRTUAL SOCIAL NETWORK «VKONTAKTE»

*The paper describes algorithms for automated search of information on contacts of a specific member of the virtual social network «Vkontakte» with a personal identifier identifying links between many of the found contacts and builds a social graph. Information search is by key words and word-forms on the pages of participants in virtual social networks, and «wall» data, put these actors to the public and comments. A feature of this program is inherent in its basis the algorithm of the graph visualization based on particle physics with gravitational field around each node, and the mechanism of links is implemented on the principle of springs. The results can also be saved in the contacts list.*

**Keywords:** virtual social networks; algorithm, graph; visualization; information search.

#### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Programma avtomatizirovannogo postroeniya social'nogo grafa kontaktov uchastnikov virtual'ny'x

- social'ny'x setej: svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy' dlya E'VM № 2015660019 / Yu.B. Savva; zayavitel' i pravoobladatel' FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK» (RU). – № 2015616927; zayavl. 28.06.2015; zaregistrirvano v reestre programm dlya E'VM 21.09.2015. – 1 s.
2. Proxorov A., Larichev N. Komp'yuternaya vizualizaciya social'ny'x grafov // Komp'yuter press [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://compress.ru/Article.aspx?id=16593> (data obrashheniya: 10.01.2016).
  3. Savva Yu.B. Programma klasterizacii i shkalirovaniya nechetkix dannyx: svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programmy dlya E'VM № 2015612445 Rossijskaya Federaciya / Yu.B. Savva; zayavitel' i pravoobladatel' FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK» (RU). – № 2014663471; zayavl. 23.12.2014; zaregistrirvano v reestre programm dlya E'VM 18.02.2015. – 1 s.
  4. Barnes J., Hut P. A hierarchical  $O(N \log N)$  force-calculation algorithm. – Nature, 1986. – № 4(324). – P. 446-449.
  5. Savva Yu.B., Eremenko V.T., Davyədova Yu.V. O probleme lingvisticheskogo analiza slenga v zadache avtomatizirovannogo poiska ugroz rasprostraneniya narkomanii v virtual'ny'x social'ny'x setyax // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2015. – № 6(92). – S. 68-75.

УДК 378(370+571)

В.А. ФРОЛОВА, А.И. ФРОЛОВ

**МОДЕЛЬ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ  
ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
«ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ -  
РАБОТОДАТЕЛЬ»**

*В статье рассматривается задача автоматизации процессов проектирования основных образовательных программ высшего образования в региональной социально-экономической системе «образовательная организация высшего образования – работодатель» с учетом центральных принципов Болонской декларации (повышение мобильности студентов и формирование индивидуальных образовательных траектории обучения) и специфичности российской системы образования. В целях автоматизации процессов проектирования представлена модель основной образовательной программы, учитывающей требования федеральных государственных образовательных стандартов, профессиональных стандартов, образовательные потребности обучающегося и требования конкретных региональных работодателей.*

**Ключевые слова:** модель; основная образовательная программа; индивидуальная образовательная траектория; автоматизация; региональная социально-экономическая система; образовательная организация высшего образования; работодатель.

Второй этап реформ системы высшего образования Российской Федерации путем создания региональных опорных университетов обусловил необходимость формирования региональной социально-экономической системы «образовательная организация высшего образования – работодатель» (далее РСЭС «ООВО – работодатель»), ориентированной на повышение конкурентоспособности выпускников образовательных учреждений. Для функционирования новой РСЭС «ООВО – работодатель» необходимо построение основных образовательных программ высшего образования (далее ООП), учитывающих требования федеральных государственных образовательных стандартов, профессиональных стандартов, требования конкретных региональных работодателей и образовательные потребности обучающегося. Модель РСЭС «ООВО – работодатель», более подробно описанная в [1], представлена на рисунке 1.

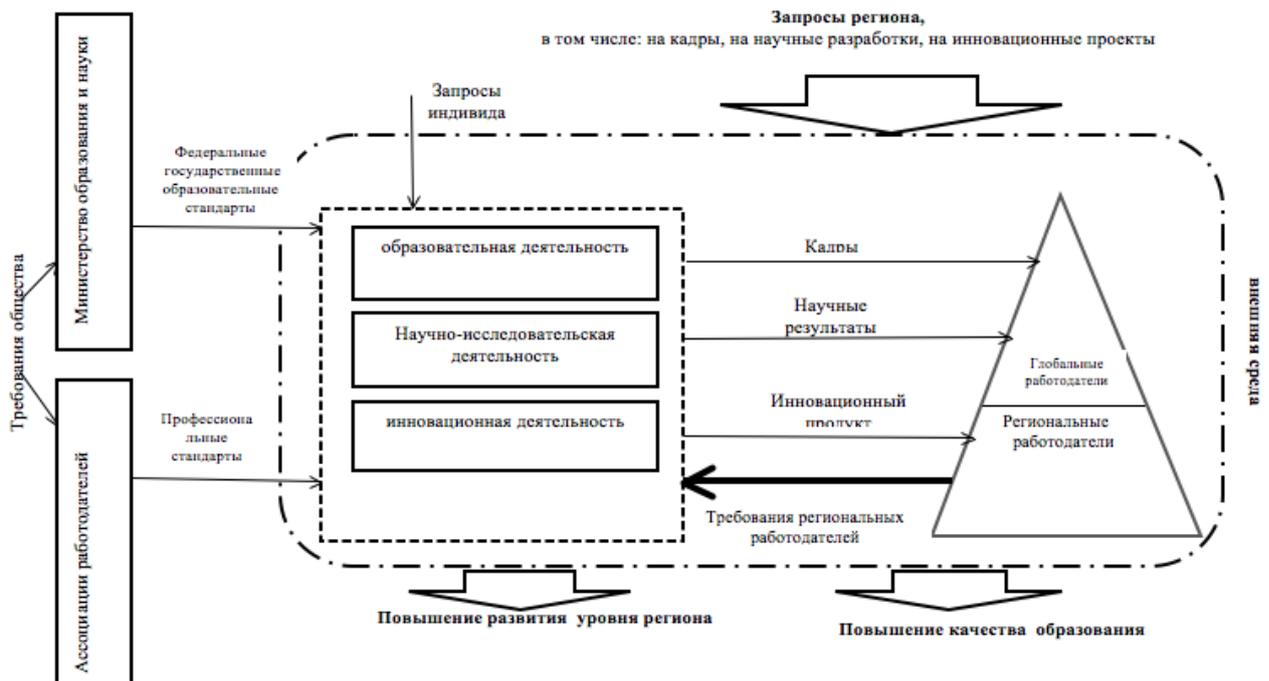
В рассматриваемой системе сам по себе трудоемкий процесс построения ООП усложняется в связи с:

- необходимостью согласования требований федеральных государственных образовательных стандартов, профессиональных стандартов и требований конкретных работодателей;
- динамичностью требований, предъявляемых к выпускникам образовательных организаций высшего образования со стороны регионального рынка труда;
- обеспечением возможности построения индивидуальной траектории обучения.

Таким образом, требуют решения две взаимосвязанные задачи. Во-первых, в контексте формирования управления образовательным процессом в РСЭС «ООВО – работодатель» необходима формулировка модели ООП, удовлетворяющей указанным выше требованиям. Во-вторых, в контексте автоматизации процессов проектирования ООП модель должна быть формализована для последующего использования при проектировании системы автоматизации.

Вопросами построения образовательного процесса, инновационной реализации основных образовательных программ в условиях вступления в силу федерального закона «Об образовании в РФ» №273 от 29.12.2012 г. [2] и необходимости применения принципов Болонского процесса в той или иной мере занимаются все образовательные учреждения высшего образования. В ходе проведенного исследования был проанализирован опыт

Национального исследовательского ядерного университета МИФИ [3] и Высшей школы экономики [4], рассмотрены результаты анализа особенностей перехода российских университетов к индивидуализации обучения [5] и опыта участия зарубежных и российских вузов в болонском процессе, проведенного исследователями Астраханского государственного университета Ветровой А.А. и Бурлиной Т.А. [6], требования к модели учебного плана, сформулированные Боюром Р.В. в его разработках в области автоматизации планирования учебного процесса при кредитно-модульной системе построения учебного процесса. Использовались материалы международного проекта «Настройка образовательных структур» [7] и обзоры моделей построения учебного процесса в зарубежных образовательных организациях.



**Рисунок 1 – Модель региональной социально-экономической системы «образовательная организация высшего образования - работодатель»**

Согласно федеральному закону «Об образовании в РФ» №273 от 29.12.2012 г. [2] образовательный процесс в организациях высшего образования осуществляется на основе основной образовательной программы, в которой отражается комплекс основных характеристик образования: объем, содержание, планируемые результаты.

Общий объем ООП определяется количеством зачетных единиц, отраженных в федеральном государственном образовательном стандарте, за определенный промежуток времени  $T_i, i=1...k$ , где  $k$  – количество установленных временных промежутков обучения.

На рисунке 2 представлена модель ООП для РСЭС «ООВО – работодатель», обеспечивающая учет требований региональных работодателей. Рассмотрим ее основные компоненты.

Ожидаемые результаты  $R$  определяются образовательной организацией и представляют собой множества знаний  $K\{k | D(k)\}$ , умений  $A\{a | G(a)\}$  и навыков  $S\{s | H(s)\}$ , которыми должен обладать обучающийся по завершению обучения. Здесь  $K$  – это множество основных закономерностей предметной области: понятий и их взаимосвязей, оценок, правил и алгоритмов. Любой элемент этого множества  $k$  обладает свойством  $D(k)$ , которое позволяет обучающемуся решать конкретные задачи, при этом  $k$  формируется на основе изучения нескольких дисциплин  $d_e, e=1...m$ , где  $m$  – количество дисциплин в модуле  $M_i, i = 1...n$ , где  $n$  – количество модулей в ООП.  $A$  – это множество способов выполнения

действий, которыми необходимо овладеть обучающемуся, обеспеченных некоторой совокупностью знаний  $G(a) = f(K)$ . При этом А формируется на основе знаний, полученных в ходе изучения, дисциплин входящих в состав различных модулей. Множество S рассматривается как совокупность отработанных и воспроизводимых в новых условиях способностей реализовывать умения А, то есть  $S=L(G(a))$ .

Множество отраженных в федеральном образовательном государственном стандарте по направлению подготовки компетенций  $PC=\{K, A, S\}$  является сочетанием знаний, умений и навыков, которыми овладевает обучающийся в процессе получения образования.

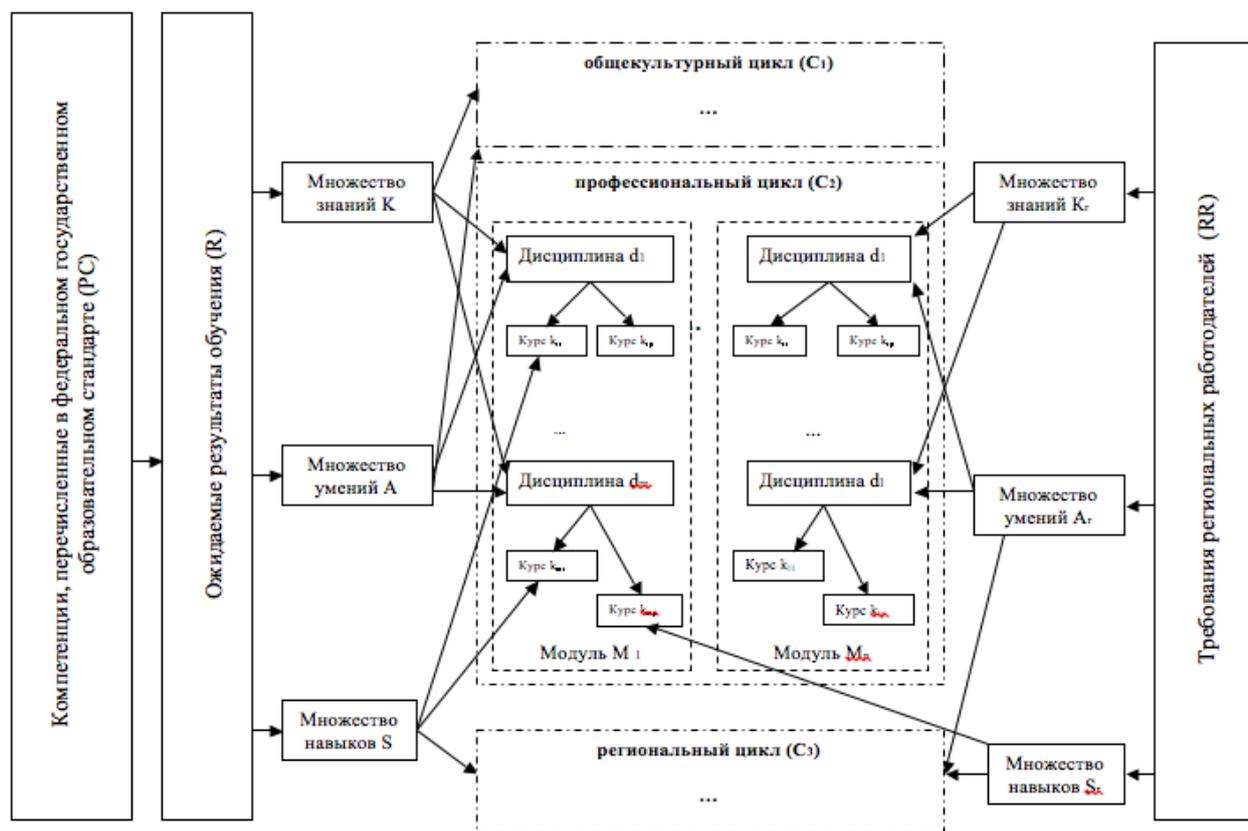


Рисунок 2 Модель построения основной образовательной программы для PCЭС «ООВО-работодатель»

Множество требований конкретных региональных работодателей RR представлено тремя множествами: знания  $K_r$ , умения  $A_r$  и навыки  $S_r$ .

В общем случае множества  $K$  и  $K_r$ ,  $A$  и  $A_r$ ,  $S$  и  $S_r$  являются попарно пересекающимися. При этом PCЭС «ООВО-работодатель» должна стремиться к состоянию, при котором  $K \supseteq K_r, A \supseteq A_r, S \supseteq S_r$ .

Внутри промежутка времени  $T_i$  работает правило постоянности входных требований  $K$  и  $K_r$ ,  $A$  и  $A_r$ ,  $S$  и  $S_r$ .

Данная структура ООП включает три взаимосвязанных комплекса (цикла) модулей  $M_i$ :

- общекультурный цикл  $C_1$  определяется совокупностью теоретических знаний  $k$  и умений  $a$ , формирующих общие компетенции, которые обеспечат обучающемуся набор результатов обучения  $R_1$ ;

- профессиональный цикл  $C_2$  направлен на приобретение теоретических знаний  $k, k_r$ , практических умений  $a, a_r$  и навыков  $s$ , формирующих общепрофессиональные и профессиональные компетенции, которые обеспечат обучающемуся набор результатов обучения  $R_2$ ;

– региональный цикл  $C_3$  обеспечивает приобретение умений  $a_r$  и навыков  $s_r$ , необходимых конкретным региональным работодателям, которые обеспечат обучающемуся набор результатов обучения  $R_3$ .

В свою очередь, каждый модуль  $M_i$  представляет собой набор взаимосвязанных дисциплин, формирующих совокупность конкретных компетенций и позволяющий набрать в процессе его изучения конкретное число зачетных единиц  $N_{Mi}$ . Каждый модуль должен покрывать определенный перечень компетенций, дисциплины другого модуля не обязаны покрывать данные компетенции, но могут освещать эти вопросы.

Любая дисциплина  $d_e$  определяется количеством зачетных единиц  $n_e$  и может быть представлена несколькими курсами  $k_{de}$ , где  $e$  – показатель уровня сложности курса данной дисциплины. Выделяются четыре уровня курса: базовый, углубленный базовый, продвинутый и специализированный, что даст возможность обучения студентов с различными уровнями знаний, но при этом освоение компетенций будет происходить при изучении любого из перечисленных видов курсов. Компетенции, перечисленные в федеральном образовательном государственном стандарте, формируются в рамках различных модулей, дисциплин и курсов. Каждая компетенция имеет шкалу уровня сложности ее усвоения, а результаты обучения по конкретному предмету характеризуется соответствующими критериями оценки. Уровень развития компетенций у обучающегося определяется оценкой по дисциплине. Результаты обучения и критерии оценки в совокупности определяют требования к присуждению зачетных единиц.

Согласно федеральному закону «Об образовании в РФ» №273 от 29.12.2012 г. результаты обучения могут быть достигнуты различными образовательными траекториями [2], что в предлагаемой модели определило выделение двух видов ООП:

- основная образовательная стандартная программа (ООСП),
- основная образовательная программа повышенной сложности (далее ООППС).

При выборе обучающимся варианта обучения по ООППС ему предоставляется возможность выбора в индивидуальном учебном плане курсов  $k_{de}$  разного уровня сложности  $e$  в рамках определенных в ООП дисциплин. За один период времени  $T_i$ , получив одинаковое количество зачетных единиц, обучающийся может достичь различных уровней достижения одного и того же результата обучения. Результаты обучения определяются компетенциями, приведенными в федеральном государственном образовательном стандарте. При оценке освоения необходимо производить шкалирование компетенций, что позволит отразить овладение ими в разной мере.

ООП для РСЭС «ООВО – работодатель» характеризуется функцией  $R=OPTIAL\{RR,PC\}$ , отражающей соответствие результатов обучения требованиям глобальных и региональных работодателей для обеспечения компетенций, приведенных в федеральном государственном образовательном стандарте по направлению подготовки. Необходимо отметить, что с 2016 года планируется включать требования профессиональных стандартов в ФГОС, поэтому  $R$  для ООП будет формироваться уже с учетом требований глобальных работодателей.

Формируемая ООП характеризуется следующими взаимосвязанными элементами:

- профилем программы, который показывает место данной ООП в системе подготовки кадров для региона; профиль ООП характеризуется индикатором  $P$ , отражающим приоритетность профиля для региона;
- модулями  $M_i$  и существующими требованиями к ним  $PC$ ,
- результатами обучения, предполагаемыми по окончании циклов обучения  $R_1, R_2, R_3$ .

Процесс учета требований конкретных региональных работодателей при формировании ООП можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке 3.

При формировании образовательного пространства, ориентированного на индивидуальные траектории обучения, можно проанализировать возможность варьирования

срока обучения, например, добавления года обучения для получения навыков по должностям профессиональных стандартов, на которые ориентирован учебный план ООП.



**Рисунок 3 – Схема процесса формирования ООП с учетом требований региональных работодателей**

Предлагаемая специфическая модель построения ООП позволит акцентировать внимание образовательных организаций высшего образования на необходимость реализации Болонской декларации в разрезе обеспечения возможности построения индивидуальных образовательных траекторий для обучающихся.

Программная реализация данной модели обеспечит возможность автоматизации формирования основной образовательной программы региональной социально-экономической системы «образовательная организация высшего образования – работодатель» с учетом федеральных государственных образовательных стандартов, профессиональных стандартов, требований конкретных региональных работодателей и образовательных потребностей обучающегося.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролова В.А. и др. Построение модели региональной социально-экономической системы «Образовательная организация высшего образования – работодатель» / В.А. Фролова, А.В. Коськин, О.А. Савина, А.И. Фролов // Информационные системы и технологии, 2016. – № 1(93). – С. 43-49.
2. Федеральный закон Российской Федерации № 273 от 29.12.2012 г. «Об образовании РФ». – М.: Собрание законодательства Российской Федерации, 2012. – № 53. –7598 с.; № 30. – 4036 с.
3. СМК-ПЛ-7.5 – 0.6 Положение о кредитно-модульной системе ФГОУ ВПО НИЯУ МИФИ от 26.12.2014 г.
4. О новой модели образовательных программ бакалавриата Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». Решение ученого совета НИУ ВШЭ от 25 апреля 2014 г. [Электронный ресурс]. – URL: [hse.ru/data/2014/05/05/1323230697/новая\\_модель\\_образовательных\\_программ\\_бакалавриата.pdf](http://hse.ru/data/2014/05/05/1323230697/новая_модель_образовательных_программ_бакалавриата.pdf).
5. Анохин А.М. Особенности перехода российских университетов к индивидуализации обучения // Ливенский филиал Госуниверситета – УНПК, г. Ливны [Электронный ресурс]. – URL: [http://fostu.ucoz.ru/publ/filosofija\\_obrazovatel'nogo\\_uchrezhdenija/17-3](http://fostu.ucoz.ru/publ/filosofija_obrazovatel'nogo_uchrezhdenija/17-3)
6. Ветрова А.А., Бурлина Т.А. Эффективное управление учебным процессом на основе анализа опыта участия зарубежных и российских ВУЗов в болонском процессе // Фундаментальные исследования, 2013. – № 11-2 [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnoe-upravlenie-uchebnym-protsessom-na-osnove-analiza-opyta-uchastiya-zarubezhnyh-i-rossijskih-vuzov-v-bolonskom-protsesse>.

7. Настройка образовательных структур в Европе. Вклад университетов в Болонский процесс (An Introduction to Tuning Educational Structures in Europe Universities' contribution to the Bologna Process) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tuningrussia.org/index.php?lang=ru>.

**Фролова Варвара Александровна**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра «Специализированные цифровые устройства и системы управления»  
E-mail: vnozdracheva@yandex.ru

**Фролов Алексей Иванович**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент, директор Научно-образовательного центра «Специализированные цифровые устройства и системы управления»  
Тел.: 8 961 627 05 50  
E-mail: aifrolov@mail.ru

---

V.A. FROLOVA (*Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,  
Leading Researcher of Scientific and Educational Center «Specialized Digital Devices and Control Systems»*)

A.I. FROLOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Director Researcher of Scientific and Educational Center «Specialized Digital Devices and Control Systems»  
Prioksky State University, Orel*)

**BASIC EDUCATIONAL PROGRAM MODEL OF REGIONAL SOCIO-ECONOMIC SYSTEM  
«EDUCATIONAL ORGANIZATION OF HIGHER EDUCATION – EMPLOYER»**

*The problem of automation for designing the basic educational programs of higher education for regional social and economic system «educational organization of higher education – employer» is discussed in the paper. Those questions are considered on the central principles of the Bologna Declaration (increased mobility of students and the formation of individual educational trajectories of training) and specificity of the Russian education system. This model of the basic educational program based on requirements of the federal state educational standards, professional standards, the educational needs of the student and the specific regional requirements of employers.*

**Keywords:** *model; basic educational program; individual educational trajectories; automation, regional socio-economic system; educational organization of higher education; employer.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Frolova V.A. i dr. Postroenie modeli regional'noj social'no-e'konomicheskoy sistemy' «Obrazovatel'naya organizaciya vy'sshego obrazovaniya – rabotodatel'» / V.A. Frolova, A.V. Kos'kin, O.A. Savina, A.I. Frolov // *Informacionny'e sistemy' i texnologii*, 2016. – № 1(93). – S. 43-49.
2. Federal'ny'j zakon Rossijskoj federacii № 273 ot 29.12.2012 g. «Ob obrazovanii RF». – M.: Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii, 2012. – № 53. – 7598 s.; № 30. – 4036 s.
3. SMK-PL-7.5 – 0.6 Polozhenie o kreditno-modul'noj sisteme FGOU VPO NIYaU MIFI ot 26.12.2014 g.
4. O novej modeli obrazovatel'ny'x programm bakalavriata Nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta «Vy'sshaya shkola e'konomiki». Reshenie uchenogo soveta NIU VShE' ot 25 aprelya 2014 g. [E'lektronny'j resurs]. – URL: [hse.ru/data/2014/05/05/1323230697/novaya\\_model'\\_obrazovatel'ny'x\\_programm\\_bakalavriata.pdf](http://hse.ru/data/2014/05/05/1323230697/novaya_model'_obrazovatel'ny'x_programm_bakalavriata.pdf).
5. Anoxin A.M. Osobennosti perexoda rossijskix universitetov k individualizacii obucheniya // *Livenskij filial Gosuniversiteta – UNPK, g. Livny'* [E'lektronny'j resurs]. – URL: [http://fostu.ucoz.ru/publ/filosofija\\_obrazovatel'nogo\\_uchrezhdenija/17-3](http://fostu.ucoz.ru/publ/filosofija_obrazovatel'nogo_uchrezhdenija/17-3)
6. Vetrova A.A., Burlina T.A. E'ffektivnoe upravlenie uchebny'm processom na osnove analiza opy'ta uchastiya zarubezhny'x i rossijskix VUZov v bolonskom processe // *Fundamental'ny'e issledovaniya*, 2013. – № 11-2 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/effektivnoe-upravlenie-uchebnym-protsessom-na-osnove-analiza-opyta-uchastiya-zarubezhnyh-i-rossijskih-vuzov-v-bolonskom-protsesse>.
7. Nastrojka obrazovatel'ny'x struktur v Evrope. Vklad universitetov v Bolonskij process (An Introduction to Tuning Educational Structures in Europe Universities' contribution to the Bologna Process) [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.tuningrussia.org/index.php?lang=ru>.

УДК 681.518:681.515.8

В.А. ЛОБАНОВА, Н.И. ФОМИН

## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

*Необходимость применения математики и, как следствие, разработки новых алгоритмов и математических моделей в исследованиях технологических процессов, в том числе и процессов первичной переработки нефти, диктуется развитием производительных сил современного производства, внедрением информационных технологий, возрастанием масштаба производства и потребления, усложнением межотраслевых связей, стремлением добиться предельно высоких эксплуатационных характеристик как действующего, так и проектируемого оборудования, чтобы свести к минимуму любые производственные потери.*

**Ключевые слова:** *первичная переработка нефти; ректификационная колонна; математическая модель; автоматическая система управления; нечеткая логика; линейная статическая модель; система цифрового управления.*

В работе ряда ученых представлены специальные вопросы построения автоматических систем управления (АСУ) процессом первичной переработки нефти (ППН), в частности, вопросы построения математических моделей процесса ППН в целях оптимального управления. В работах Козлова В.А. для установок ППН разработана линейная модель с переменными коэффициентами, которая осуществляется в классе обобщенного линейного программирования. В качестве независимых переменных выступают отборы буферных фракций, что позволяет учесть и наглядно отразить следующую технологическую особенность процесса: отбор любой фракции может быть изменен только за счет изменения отборов смежных с ней фракций [1].

В работах Эфендиева И.Р. разработана математическая модель комплекса, включающая построение функциональной модели, модели ректификационных колонн и производственно-экономической модели. Последняя представляет собой некоторую ориентированную сеть, узлами которой являются ректификационные колонны, а дугами – технологические связи между ними [2].

Для изучения поведения параметров регрессионных моделей процессов ППН, проверки постоянства регрессионных соотношений был использован КС-тест, превосходящий по мощности многие другие на достаточно длинных выборках. Он основан на анализе кумулятивных сумм остатков стандартной модели множественной линейной регрессии.

КС-тест был применен к моделям выходных параметров фракций НК-62, 62-85, 85-105, 105-180°C, керосина и дизельного топлива. Эти модели были построены в зависимости от показателей качества нефти и режимных переменных.

Регрессионная модель процесса ППН получена также в работе [3]. Для устранения искажения параметров регрессии из-за сильной коррелированности входов применены алгоритмы смещенного оценивания параметров регрессии, позволяющие значительно улучшить качество моделей процесса ППН.

Авторы [4], исследуя технологические процессы ректификации на мини-НПЗ, которые обладают рядом особенностей, отмечают, что тепловой баланс процесса ректификации играет ключевую роль в переработки нефти. Изучение его условий при математическом моделировании является важной задачей для прогнозирования результатов ректификации на конкретной колонне в условиях мини-НПЗ.

На тепловой баланс ректификации непосредственно влияет температура нагрева подаваемой нефти.

Рассмотрим уравнение:

$$Q_{\text{вх}} = (Q_P + Q_W - Q_F - Q_f) \Pi. \quad (1)$$

Данное уравнение дает представление о тепловых потоках:  $Q_{\text{вх}}$  – количество теплоты (Дж), подаваемое с нагретой углеводородной смесью (ее же энергия учитывается как  $-Q_F$ ), а также подаваемой флегмой с верха колонны (ее энергия учитывается как  $-Q_f$ ). Учитывается подача кубового остатка  $Q_W$  и паров дистиллята  $Q_P$ ;  $\Pi$  – коэффициент потери в окружающую среду.

Опишем тепловые потоки:

$$Q_P = \frac{D(R+1)H_P}{3600}, \quad (2)$$

где  $D$  – производительность по дистилляту (кМоль/ч);  $R$  – флегмовое число;  $H_P$  – энтальпия паров дистиллята (Дж/кМоль).

Флегма

$$Q_W = \frac{W \cdot H_W}{3600}, \quad (3)$$

где  $W$  – производительность по кубовому остатку (кМоль/ч);  $H_W$  – энтальпия кубового остатка (Дж/кМоль).

$$Q_F = \frac{F \cdot H_F}{3600}, \quad (4)$$

где  $F$  – производительность колонны по питанию (кМоль/ч),  $H_F$  – энтальпия питания (Дж/кМоль).

$$Q_f = \frac{D \cdot R \cdot H_f}{3600}, \quad (5)$$

где  $H_f$  – энтальпия флегмы (Дж/кМоль).

В данных уравнениях приводится общее количество теплоты  $Q$  (Дж), общее количество сырья (кМоль/час). Также отсюда видно, что уравнения материального и теплового балансов тесно связаны друг с другом, и часто при расчетах используются совместно для решения систем уравнений.

Существует другое математическое описание процесса ректификации – «от тарелки к тарелке», или «потарелочный» расчет [5]. Чтобы понять суть этого математического аппарата, приведем уравнения для укрепляющей (верхней) части колонны:

$$V_j H_j^v = L_{j-1} H_{j-1}^l + D \cdot H_d^v + \sum_{k=1}^{k=j-1} W_k \cdot H_w^l - \sum_{k=1}^{k=j-1} Q_k. \quad (6)$$

В этом уравнении используются мольные доли сырья:  $L$ ,  $V$ ,  $D$ ,  $W$  – это количество жидкости, пара, дистиллята, кубового продукта соответственно, моль/100 моль сырья. Таким образом, тепловой баланс может быть выражен также и через концентрации компонентов в системе. Уравнение, учитывающее питающую и отгонную часть (уравнение общего теплового баланса по колонне в целом):

$$F^l H_f^l + F^v H_f^v = D \cdot H_d^v + \sum_{k=1}^{k=n} W_k \cdot H_w^l + R \cdot H_r^v - \sum_{k=1}^{k=n} Q_k. \quad (7)$$

Как видно, учитываются также  $F$  и  $R$  – количество питания и кубового остатка в колонне. В этой же литературе есть еще одно уравнение, описывающее тепловой баланс по тарелкам:

$$L_j H_j^l + V_j H_j^v = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{k=n} (L_k^l H_k^l a_{j,k}^l + V_k^v H_k^v a_{j,k}^v) + F_j^l H_j^{F^l} + F_j^v H_j^{F^v} + Q_j, \quad (8)$$

где,  $a_{j,k}^l, a_{j,k}^v$  – коэффициенты распределения жидкостного и парового потоков.

В работе Страшко В.Т. построена линейная статическая модель процесса ППН, содержащая неизвестные параметры, учитывающие неконтролируемые возмущения. В качестве функции цели предложено использовать взвешенную сумму относительных отборов целевых продуктов, которую необходимо максимизировать. Выходными координатами  $i$ -го технологического звена являются: температура выкипания 90% веса пробы, получаемого в следующем звене (качественные показатели); интегральный отбор продуктов всех предшествующих звеньев, включая рассматриваемый (количественный показатель) [6].

Анализ этих работ показывает, что здесь используются стохастические модели процесса ППН, учитывающие неизвестные параметры. Эти модели получаются сложными с точки зрения математического описания технологического процесса и строят их на базе значительного количества упрощенных предположений.

Целый ряд публикаций посвящен задаче оптимального управления процессом ППН, при этом для решения поставленной задачи применяются различные методы и алгоритмы.

В работе [7] для оптимизации режимов работы процесса ППН, обеспечивающего выработку 10 фракций, используется метод линейного программирования. Эти фракции могут быть получены в семи режимах работы из пяти модельных фракций. В результате получают систему из 18 линейных уравнений с 18 неизвестными, которую решают методом Гаусса-Джордана.

С целью оптимизации процесса разделения нефти на несколько целевых продуктов разной значимости в работе [8] описана математическая постановка этой задачи и ее реализация в виде пакета программ. Рассматривается задача оптимального разделения нефти применительно к разделению непрерывной смеси на ряд целевых нефтепродуктов. На показатели качества каждого нефтепродукта заданы ограничения, которые сведены к ограничениям на фракционный состав. В пределах заданных ограничений распределение узких фракций между целевыми продуктами неоднозначно, поэтому среди возможных выбирается такое распределение, которое максимизирует заданный критерий.

Разработанное математическое обеспечение позволяет: вводить, контролировать и хранить в базе данных постоянную информацию; осуществлять текущую идентификацию моделей; формировать матрицу линейного программирования и получать решение; печатать необходимые выходные документы. Время текущего расчета одного варианта и печати составляет 15 минут.

В ряде работ авторы предлагают в качестве критерия оптимальности для процесса ППН принять величину удельного отбора светлых нефтепродуктов. Задача оптимизации сформулирована следующим образом: максимизировать отбор светлых нефтепродуктов при соблюдении требований по качеству.

Недостатком этих работ является то, что задача оптимального управления решается методом линейного программирования; при этом, как известно, решение получается на границах области изменения режимных параметров, что делает их в большинстве случаев нереализуемыми.

Так, в работе [9] автор освещает проблему построения системы автоматического регулирования расхода топлива в ректификационной колонне на мини-НПЗ и утверждает, что применение современного автоматического регулирования позволит значительно повысить качество производимых в РК продуктов.

На основе полученных данных проводится синтез регулятора в среде MatLab с помощью пакета Fuzzy Logic с применением системы Сугэно. В системах типа Сугэно значения выходной переменной задаются, как линейная комбинация входных переменных, а также она лучше поддается оптимизации.

Для управления процессом регулирования расхода нефти вводится две лингвистические переменные: «ошибка» (по давлению) и «управляющее воздействие» (на

расход). Ошибка – входная, управляющее воздействие – выходная переменные. Определим множества терм для этих переменных.

Базовое множество терм для каждой переменной включает в себя нечеткие множества, которые обозначаются как отрицательная высокая, отрицательная низкая, нуль, положительная низкая, положительная высокая.

Было доказано, что точность системы значительно возрастает, а время регулирования значительно уменьшается при правильной настройке регулятора на нечеткой логике.

В работе японских ученых [10] описана автоматизированная система управления установкой ректификации сырой нефти, состоящей из блоков отгонки легких фракций и газофракционирования. При оптимизации режима блока отгонки легких фракций максимизируют выход керосина; цель оптимизации режима блока газофракционирования – увеличение выхода кондиционного продукта и стабилизация технологических параметров процесса средствами регулирования. При оптимизации режима блока отгонки легких фракций используют многоуровневую иерархическую систему управления, для чего разработана адаптивная модель процесса ректификации.

Задача оптимального управления комплексом ППН, состоящим из большого числа колонн и агрегатов, объединенных в трех блоках, рассмотрена в работе [4]. Ввиду сложности моделей, большого числа функциональных ограничений, наличия связей между агрегатами обоснована целесообразность многоуровневого декомпозиционного подхода к решению оптимизационной задачи, позволяющего перейти от задачи оптимизации всей системы к последовательности локальных задач оптимизации ее отдельных блоков. Так как задача оптимизации является невыпуклой и непосредственное применение метода множителей Лагранжа здесь оказалось нерезультативным, для решения поставленной задачи используют координационный метод множителей, основанный на конструировании модифицированного лагранжиана и применимый к схемам, описываемым невыпуклыми гладкими функциями.

Однако надо отметить, что применение в этих работах нелинейных алгоритмов, с использованием которых можно было бы управлять установкой ППН, не увенчалось успехом из-за большой размерности задачи нелинейной оптимизации.

Задача оптимального управления установкой ППН сформулирована как стохастическая задача с вероятностными ограничениями на качественные показатели выходных нефтепродуктов в работе [11]. Чтобы решить задачу в такой постановке, автор сперва определяет детерминированный аналог, а потом предлагает декомпозиционный алгоритм, основанный на модификации метода множителей Лагранжа.

Задачу оптимального управления установкой ППН Ахметов С.А. [5] предлагает решать в два этапа: вначале решается задача стабилизации качественных показателей нефтепродуктов, а затем задача выбора оптимальных точек стабилизации, обеспечивающих экстремум целевой функции. Задача оптимизации, как показано в работе, вырождается в задачу стабилизации предельных значений допустимых диапазонов изменения качественных показателей нефтепродуктов. Задача стабилизации решена методом синтеза минимаксных систем управления объектами по статической модели с неизвестными параметрами и неточно изменяемыми выходными координатами.

Решение задачи оптимизации осуществляется методом нелинейного программирования.

Недостатком этих работ является то, что оптимальные режимы, полученные с помощью методов стохастического программирования, в силу принятых допущений отличаются от текущих технологических режимов.

Наряду с работами, посвященными проблеме моделирования и оптимизации процесса ППН, в ряде публикаций рассматриваются вопросы функционирования систем регулирования на установках ППН, задачи стабилизации оптимальных технологических режимов.

Ограниченные возможности средств пневмоавтоматики не позволяют решать задачи управления технологическим процессом в полном объеме.

Необходимостью дальнейшего повышения качества стабилизации режима процесса с одной стороны и появлением достаточно надежных УВМ с другой объясняется интенсивное внедрение УВМ в замкнутые контуры управления технологическими процессами нефтепереработки, в том числе и процессами ППН, имеющее место в последние годы.

В работе [12] управление процессом ППН осуществляется цифровой системой непосредственного контроля с помощью ЭВМ осуществляется посредством 74 регуляторов НЦУ. Система объединяет 24 взаимосвязанных контура управления; она позволяет максимизировать выпуск продукции.

Применение системы НЦУ с пропорционально-импульсным регулированием значительно улучшило работу ректификационных колонн на мини-НПЗ.

Система регулирования предусматривает наличие следующих ограничений: минимальное количество входных данных (температура, давление и расходы); использование доступных и регулируемых при нормальной работе установки входных параметров; точность входных параметров для системы регулирования с помощью ЭВМ, основанной на материальном и тепловом балансах, должна быть такой, чтобы критические значения этих параметров могли быть установлены без помощи оператора.

Входными параметрами системы регулирования выбраны: расходы сырья, продуктов, орошения и водяного пара; температура сырья, продуктов и орошения; давления верха и низа колонн.

Выходными параметрами, с помощью которых ЭВМ осуществляет автоматическое регулирование качества продуктов или четкости разделения, являются: расходы боковых погонов, верхнего и бокового циркуляционного орошения, температура и расход сырья.

Рассмотренные выше работы обладают существенными недостатками – в них слабо освещен опыт создания и анализ функционирования современных АСУ процессом ППН, работающих в режиме НЦУ, в частности, отсутствуют инженерные методы синтеза таких систем управления.

Таким образом, несмотря на то, что области управления процессом ППН посвящено значительное число работ, получен ряд важных для науки и практики результатов, качество управления процессом все еще не достигло требуемого уровня, что и обуславливает постоянные поиски путей повышения эффективности функционирования автоматизированных систем управления процессами с непрерывной технологией, в том числе и комплексами ППН. Причем в части работ в этом направлении явно выражены три тенденции:

1. Сделана попытка получения оптимальных режимов, удовлетворяющих условию их реализуемости. Это проявляется в том, что разработчики стали переходить к математическим моделям более высоких порядков. Однако это не дало ожидаемого эффекта, поскольку при незначительном повышении адекватности моделей они стали гораздо более громоздкими и расчет оптимального режима на их основе стал затруднительным.

2. Выявлены жесткие детерминированные ограничения на качество получаемых фракций не отражают реальных технологических ситуаций; в результате была сформулирована задача оптимального управления в условиях неопределенности, в которой указанные ограничения носили вероятностный характер. Несмотря на то, что решение этой задачи с использованием теории стохастического программирования было шагом вперед на пути создания систем управления, удовлетворяющих современным требованиям, оставалась не до конца решенной проблема практической реализуемости оптимальных режимов в силу их отличия от текущих технологических режимов.

Автор предполагает, что существует большой объем неформализуемой и труднореализуемой информации, которая весьма существенно сказывается на качестве управления установкой и не учитывается традиционными математическими моделями. К подобной информации относятся опыт и интуиция операторов-технологов, значительные неконтролируемые возмущения, состояние технологических агрегатов в конкретный момент времени и др.

Резервом повышения эффективности АСУ является возможность использования этой информации в процессе управления комплексом ППН на основе теории нечётких множеств.

Методологическим аспектам построения систем регулирования с использованием теории нечетких множеств посвящено значительное число работ, например, работа [9] Лобановой В.А. «Модель нечеткого регулятора расхода топлива в ректификационной колонне».

Вопросы использования аппарата теории нечетких множеств на уровне оптимального управления сложными технологическими комплексами в вышеуказанных работах не рассмотрены.

3. Разработка систем управления, способных с требуемой точностью стабилизировать оптимальный режим, рассчитанный на верхнем уровне. На решение этой задачи направлены усилия разработчиков систем НЦУ. Однако эти системы на базе мини-ЭВМ, несмотря на то, что они в сравнении с локальными системами регулирования реализовывали более сложные и эффективные алгоритмы управления, в силу большой стоимости, отсутствия резервирования и, следовательно, недостаточной надежности широкого применения не нашли.

Проведенный выше критический обзор работ и выводы из него, касающиеся разработки систем оптимального управления установкой ППН и систем стабилизации оптимальных ее режимов, обусловили постановку задачи исследований.

Учитывая актуальность задачи повышения качества выходного продукта при ППН, необходимо разработать систему управления, в значительной степени лишенную недостатков, свойственным существующим системам.

Для достижения цели необходимо разработать модели и алгоритмы нечеткого управления на основе теории нечетких множеств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.А. Экономико-математическая модель блока первичной переработки нефти // Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. Автоматизация производственных процессов. – Грозный, 1979. – С. 47-48.
2. Эфендиев И.Р., Бадаев Р.С. Модели и алгоритмы многоуровневой оптимизации крупнотоннажной установки ЭЛОУ-АВТ // Известия ВУЗов СССР. – Нефть и газ, 1980. – № 3. – С. 77-81.
3. Копысицкий Т.И., Расулов С.Р., Сергеенкова Е.Р. О применении статистических методов при моделировании процесса первичной переработки нефти // Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1982. – № 1. – С. 52-57.
4. Лобанова В.А., Фокин М.А. Основные проблемы подбора настроек промышленных регуляторов // Информационные системы и технологии, 2013. – № 4(78). – С. 106-114.
5. Ахметов С.А. Моделирование и инженерные расчёты физико-химических свойств углеводородных систем // Издательский отдел Республиканского учебно-научного методического центра Министерства образования РБ. – Уфа, 2003. – 160 с.
6. Страшко В.Т. Разработка и исследование методов синтеза систем управления комплексом технических звеньев в условиях неопределённости // Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Киев, 1976. – 26 с.
7. Horaczek M., Kaczmarszuk A. Okreslenie optymalnego rozdestylowania ropy naftowej mefcoda programawania ciniowego. – Nafta, 1977. – № 10. – P. 350-353.
8. Вижгородский Б.Н., Хохлов А.С., Цодиков Ю.М. Оптимизация распределения фракций нефти при первичной переработке // Нефтепереработка и нефтехимия, 1981. – № 7. – С. 19-23.
9. Лобанова В.А., Фокин М.А. Модель нечеткого регулятора расхода топлива в ректификационной колонне // Информационные системы и технологии, 2013. – № 5(79). – С. 45-53.

10. Юсифов Р.Ф. Стохастическая задача управления комплексом первичной переработки нефти // Тезисы докладов 4 Всесоюзной конференции «Математические методы в химии» (ММХ-4). – Ереван, 1982. – С. 162-163.
11. Bachr P. Canad. – Petroleum, 1971. – № 6. – P. 49-50.

**Лобанова Валентина Андреевна**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8 905 046 08 65  
E-mail: Fobos-0203@yandex.ru

**Фомин Николай Иванович**

ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», г. Орел  
Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
Тел.: 8 953 610 63 47  
E-mail: Fobos-0203@yandex.ru

---

V.A. LOBANOVA (*Professr of the Department «Electronics, Computer Sciences and Information Security»*)

N.I. FOMIN (*Post-graduate of the Department «Electronics, Computer Sciences and Information Security» Prioksky State University, Orel*)

**THE ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL APPARATUS OF THE PROCESS OF PRIMARY OIL REFINING**

*The need to use mathematics and as a consequence, the development of new algorithms and mathematical models in the study of processes, including processes of primary oil refining, is dictated by the development of the productive forces of modern production, the introduction of information technology, increasing the scale of production and consumption, the increasing complexity of inter-branch relations, the desire achieve extremely high performance, both existing and planned equipment to minimize any loss of production.*

**Keywords:** *primary oil refining; distillation column; mathematic model; automatic control system; fuzzy logic; linear static model digital control system.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Kozlov V.A. E'konomiko-matematicheskaya model' bloka pervichnoj pererabotki nefiti // Tezisy' dokladov respublikanskoj nauchno-texnicheskoj konferencii molody'x ucheny'x i specialistov. Avtomatizaciya proizvodstvenny'x processov. – Grozny'j, 1979. – S. 47-48.
2. E'fendiev I.R., Badaev R.S. Modeli i algoritmy' mnogourovnevoj optimizacii krupnotonnazhnoj ustanovki E'LOU-AVT // Izvestiya VUZov SSSR. – Neft' i gaz, 1980. – № 3. – S. 77-81.
3. Kopy'sickij T.I., Rasulov S.R., Sergeenkova E.R. O primenenii statisticheskix metodov pri modelirovanii processa pervichnoj pererabotki nefiti // Azerbajdzhanskoe neftyanoe xozyajstvo, 1982. – № 1. – S. 52-57.
4. Lobanova V.A., Fokin M.A. Osnovny'e problemy' podbora nastroek promyshlenny'x regulyatorov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2013. – № 4(78). – S. 106-114.
5. Axmetov S.A. Modelirovanie i inzhenerny'e raschyoty' fiziko-ximicheskix svojstv uglevodorodny'x sistem // Izdatel'skij otdel Respublikanskogo uchebno-nauchnogo metodicheskogo centra Ministerstva obrazovaniya RB. – Ufa, 2003. – 160 s.
6. Strashko V.T. Razrabotka i issledovanie metodov sinteza sistem upravleniya kompleksom texnicheskix zven'ev v usloviyax neopredelyonnosti // Avtoreferat dissertacii kandidata texnicheskix nauk. – Kiev, 1976. – 26 s.
7. Horaczek M., Kaczmarczuk A. Okreslenie opymalnogo rozdestylovania ropy naftowey mefcoda programawania siniowego. – Nafta, 1977. – № 10. – P. 350-353.
8. Vizhgorodskij B.N., Xoxlov A.S., Codikov Yu.M. Optimizaciya raspredeleniya frakcij nefiti pri pervichnoj pererabotke // Neftepererabotka i neftehimiya, 1981. – № 7. – S. 19-23.
9. Lobanova V.A., Fokin M.A. Model' nechetkogo regulyatora rasxoda topliva v rektifikacionnoj kolonne // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2013. – № 5(79). – S. 45-53.
10. Yusifov R.F. Stokhasticheskaya zadacha upravleniya kompleksom pervichnoj pererabotki nefiti // Tezisy' dokladov 4 Vsesoyuznoj konferencii «Matematicheskie metody' v ximii» (ММХ-4). – Erevan, 1982. – S. 162-163.
11. Bachr P. Canad. – Petroleum, 1971. – № 6. – P. 49-50.

УДК 004.056.53

Д.В. АНИСИМОВ, П.В. МЕЛЬНИКОВ

## ПРОВЕДЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ LLVM

*В статье предлагается подход к организации проведения сертификационных исследований программного обеспечения на отсутствие недеklarированных возможностей с помощью технологии LLVM.*

*Ключевые слова:* исследование программного обеспечения; статический и динамический анализ; поиск уязвимостей; недеklarированные возможности.

### ВВЕДЕНИЕ

На основании «Плана перехода федеральных органов исполнительной власти и федеральных бюджетных учреждений на использование свободного программного обеспечения (СПО) на 2011-2015 годы», утвержденного распоряжением Правительства РФ № 2299-р от 17 декабря 2010 года и долгосрочной «Программы развития Интернета до 2025 года», входящей в дорожную карту «Государство и общество», закреплено, что законодательство Российской Федерации о государственных закупках будет меняться для осуществления перехода с операционной системы (ОС) Microsoft Windows на свободное СПО в государственных и муниципальных структурах, а также юридических лиц, подпадающий под действие ФЗ №223 от 18.07.2011 «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (госкомпании, организации, находящихся под контролем государства, естественные монополии и т.д.). В связи с этим возникает необходимость в разработке и во внедрении такого программного обеспечения (ПО). Однако для его применения в федеральных и муниципальных органах власти необходима его сертификация на соответствие требований ФСТЭК на отсутствие недеklarированных возможностей [1].

Основной платформой для разрабатываемых программных средств является ОС Linux в различных ее вариациях (Ubuntu, AltLinux, Debian, SuSe, CentOS и др.). Соответственно, существует необходимость разработки специальных средств проведения анализа разрабатываемого ПО на безопасность его функционирования под данную платформу. Для решения данной задачи предлагается применить технологию Low Level Virtual Machine (LLVM) в качестве базы, позволяющей проводить сертификационные исследования за счет своей гибкости реализации и имеющихся инструментальных средств.

### ТЕХНОЛОГИЯ LLVM

LLVM является проектом с открытыми исходными текстами [2]. В настоящее время LLVM используется в качестве стандартной инфраструктуры для реализации компиляторов (препроцессоров), работающих с большим количеством статически и динамически компилируемых языков (т.е. с семейством языков, поддерживаемых C, C++, Objective-C, Objective-C++, Java, JavaScript, .NET, Python, Ruby, Scheme, Haskell, D, GLSL и др.). В качестве архитектур функционирования поддерживаются X86, X86\_64, Sparc, ARM, PowerPC, MIPS, Cell, PTX, XCore, MBlaze. В основе LLVM лежит промежуточное представление кода (Intermediate Representation, IR), над которым можно производить трансформации во время компиляции, компоновки (Linking) и выполнения. Из этого представления генерируется оптимизированный машинный код для целого ряда платформ как статически, так и динамически (JIT-компиляция). LLVM поддерживает генерацию кода

для платформ x86, x86-64, ARM, PowerPC, SPARC, MIPS, IA-64, Alpha. На рисунке 1 представлена инфраструктура LLVM.

В качестве средства статического анализа, работающего с LLVM, может использоваться препроцессор Clang. Clang является компилятором для языков программирования C, C++, Objective-C и Objective-C++, созданным специально для работы на базе LLVM. Комбинация Clang и LLVM предоставляет набор инструментов, позволяющих полностью заменить GCC. Благодаря архитектуре, основанной на библиотеках, Clang (как и LLVM) легко встраивается в другие приложения.

Одной из главных задач Clang является поддержка инкрементной компиляции, позволяющей более тесно интегрировать компилятор и графический интерфейс среды разработки, в отличие от GCC, который был создан для работы в классическом цикле «компиляция-линковка-отладка». Clang ориентирован на предоставление универсального фреймворка для проведения парсинга, индексации, статического анализа и компиляции языков семейства Си. В частности, Clang не производит упрощений исходного кода на этапе парсинга (как это делает GCC), гарантируя точное воспроизведение исходного текста.

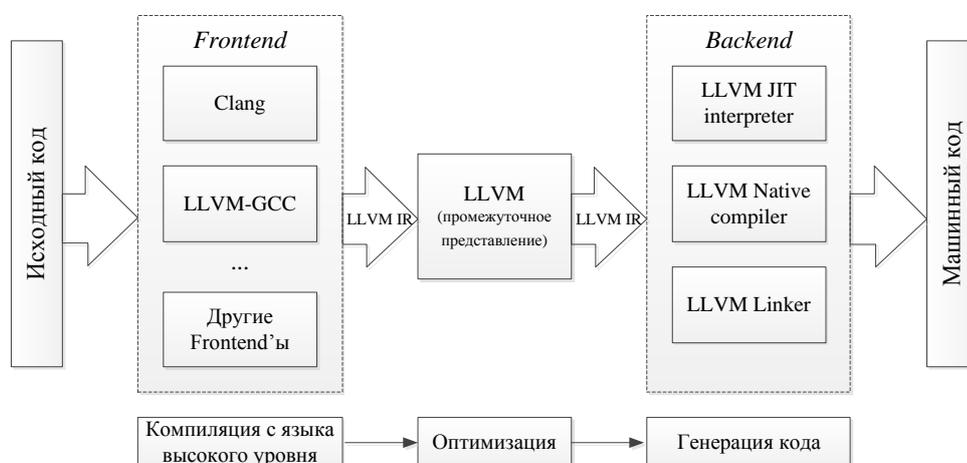


Рисунок 1 – Инфраструктура LLVM

Clang изначально спроектирован для максимального сохранения информации в ходе процесса компиляции, в том числе сохранения «внешнего вида» исходного кода. Эта особенность позволяет Clang создавать развернутые контекстно-ориентированные сообщения об ошибках, понятные как для программистов, так и для сред разработки. Модульный дизайн компилятора позволяет использовать его в составе среды разработки для индексирования кода, подсветки синтаксиса и рефакторинга. Clang поддерживает большинство распространенных опций GCC.

Clang позволяет осуществлять поиск ошибок и недостатков программного кода различных типов. В их числе – наличие в коде неиспользуемых переменных, использование неинициализированных переменных, логические ошибки (ошибки вычисления счетчика цикла или индекса массива, ошибки обращения по нулевому указателю, неверные логические выражения), ошибки управления выделением динамической памяти. Кроме того, Clang поддерживает аннотирование кода в виде набора атрибутов (частично заимствованных из проекта GCC). При помощи таких аннотаций разработчик детализирует информацию о логике выполнения кода, позволяя средству статического анализа проводить более качественную проверку [3].

Одним из достоинств Clang является простота его интеграции в процесс разработки. Если при сборке используется make-файл, то достаточно выполнить команду *scan-build make*, при необходимости указав нужный компилятор (по умолчанию используется GCC). В результате будет проведена не только сборка проекта, но и проверка его исходного кода.

LLVM также поддерживает средства динамического анализа, позволяющие обнаруживать ошибки работы с памятью (AddressSanitizer) и ошибки синхронизации потоков (ThreadSanitizer) во время выполнения программы.

В качестве средства динамического анализа, работающего с LLVM, может использоваться KLEE, который является символьной виртуальной машиной, основанной на компиляторной инфраструктуре LLVM. Основная задача KLEE – генерация таких наборов выходных данных, которые приводили бы к исполнению всех ветвей алгоритма исследуемой программы [4].

С помощью KLEE можно провести исследование ПО методом фаззинга в рамках динамического анализа. Являясь символьным интерпретатором байткода LLVM, он может выполнять код, сгенерированный любым фронт-эндом (препроцессором). Суть символьного выполнения сводится к тому, что все входные значения запускаемой программы содержат не конкретные значения, а символьные ограничения на возможные значения. В процессе выполнения могут создаваться новые символьные переменные (например, когда их значения зависят от результата какой-либо операции с символьным операндом), а также изменяться существующие (при ветвлении на пути выполнения программы).

В качестве средства трансляции кода, написанного под платформой x86 в байткод LLVM, может применяться фреймворк McSema (MC-Semantics). Он предназначен для анализа и преобразования машинного кода в промежуточный байткод LLVM (RISC-подобные виртуальные инструкции LLVM IR) [5]. McSema поддерживает машинный код архитектуры x86, включая целочисленные вычисления, операции с плавающей запятой (FPU) и векторные инструкции (SSE). Варианты трансляции представлены на рисунке 2.

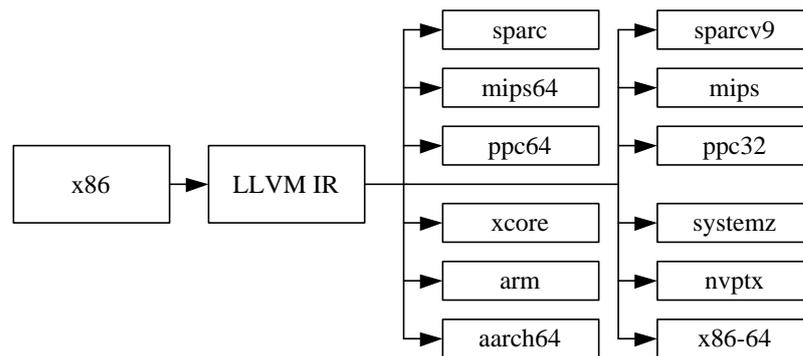


Рисунок 2 – Возможные варианты трансляции с использованием McSema

В качестве основных областей применения McSema отмечают анализ и обратный инжиниринг программ. Например, становится возможным применение инструментов отладки и анализа (KLEE, PAGAI, LLBMC), поддерживающих LLVM IR. При этом преобразование машинного кода в промежуточное представление LLVM открывает такие потенциальные возможности, как обеспечение запуска на различных платформах и трансляцию в более понятный вид исходных текстов, написанных на высокоуровневых языках, для анализа. McSema также позволяет упростить сложные схемы трансформации кода с сохранением изначальной функциональности. Таким образом получается избавиться от обфускации исходных текстов, если она присутствует.

В состав McSema входит несколько доступных для обособленного использования субпроектов, выполняющих функции восстановления управляющего потока, трансляции инструкций, разбора бинарных файлов и тестирования. На первом этапе при помощи программы bin\_descend производится восстановление управляющего потока и построение графа структуры программы, определяющего базовые блоки кода и информацию о внешних вызовах с сохранением семантики инструкций оригинальной архитектуры. Граф с информацией об управляющем потоке формируется с использованием протокола Google Protocol Buffer и передается для обработки программе cfg\_to\_bc, которая выполняет преобразование инструкций и формирует байткод LLVM.

В качестве отладчика в состав LLVM может использоваться LLDB. LLDB – высокопроизводительный отладчик, который представляет собой инфраструктуру для организации отладки приложений и состоит из набора модулей и библиотек, использующих такие подсистемы LLVM, как API для дизассемблирования, Clang AST (Abstract Syntax Tree), парсер выражений, генератор кода и JIT-компилятор. Он используется для базовой отладки программ, написанных на C, Objective-C и C++. LLDB поддерживает такие платформы, как Mac OS X, Linux, i386, x86-64, ARM архитектуры [6].

Основными достоинствами LLDB являются:

- возможность обработки «трудных случаев», таких, как разбор выражений на языке C++, обработка перегрузки операторов, работа с шаблонами, отладка многопоточных программ и другие нетривиальные сценарии отладки;
- создание набора библиотек для интегрированных сред разработки, набора утилит для работы в командной строке и аналитических инструментов;
- высокая эффективность использования памяти при отладке;
- расширяемость, возможность подключения расширяющих функциональность плагинов и скриптов на языке Python для автоматизации выполнения рутинных операций;
- повторное использование существующих технологий компиляторов там, где это имеет смысл;
- первичная поддержка отладки многопоточных программ и языков C, Objective-C и C++;
- легкая адаптация для поддержки различных платформ;

Основными возможностями LLDB являются:

- реализация в виде плагинов:
  - а) парсеры объектных файлов. В настоящий момент поддерживаются форматы Mach-O (32/64-bit) и ELF (32-bit);
  - б) парсеры контейнеров объектов для выделения объектных файлов, объединенных в единый архив. Поддерживаются универсальные Mach-O-файлы и BSD-архивы;
  - в) парсеры отладочной информации. Поддерживаются таблицы символов DWARF и Mach-O;
  - г) плагины для сбора отладочных символов из различных внешних источников;
  - д) плагины для дизассемблирования кода для различных архитектур. В настоящее время поддерживаются архитектуры i386, x86-64 и ARM/Thumb;
- сгенерированные при помощи SWIG скрипты, позволяющие получить доступ к управляющему отладочному API;
- серверный процесс debugserver, позволяющий организовать отладку кода на удаленном сервере;
- отладчик, работающий в режиме командной строки;
- API для использования возможностей системы в сторонних проектах.

### КОМПЛЕКС ПРОВЕДЕНИЯ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Описанные средства позволяют построить исследовательский комплекс, осуществляющий основные проверки при проведении исследований ПО (рис. 3).

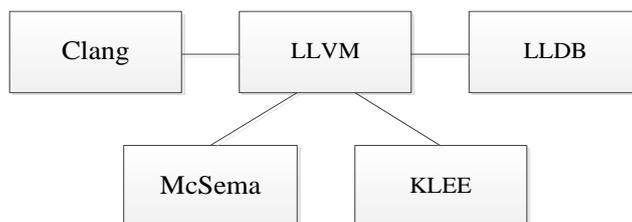


Рисунок 3 – Предлагаемый комплекс по проведению тематических исследований

Используемые компоненты комплекса являются проектами с открытыми исходными текстами, что делает возможным проведение его сертификации по требованиям ФСТЭК и использованию в рамках исследований, проводимых сертификационными лабораториями. Представленные компоненты комплекса позволяют проводить статический и динамический контроль исходных текстов ПО в соответствии с руководящим документом ФСТЭК на отсутствие недеklarированных возможностей [1]. Модульная структура позволяет наращивать дополнительный функционал, за счет наличия программных интерфейсов сопряжения.

## ВЫВОДЫ

Применение данного комплекса позволяет решить задачу сертификации разрабатываемого ПО для различных системных платформ. При этом нет необходимости разработки средств анализ с самого начала. Существующая технология с доработкой компонентов позволяет провести сертификационные исследования разрабатываемых программных продуктов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководящий документ Гостехкомиссии России. Защита от несанкционированного доступа к информации. Часть 1. Программное обеспечение средств защиты информации. Классификация по уровням контроля отсутствия недеklarированных возможностей // Гостехкомиссия России. – М., 1999.
2. The LLVM Compiler Infrastructure [Электронный ресурс]. – URL: <http://llvm.org>.
3. Clang: a C language family frontend for LLVM [Электронный ресурс]. – URL: <http://clang.llvm.org>.
4. The KLEE Symbolic Virtual Machine [Электронный ресурс]. – URL: <http://klee.llvm.org>.
5. Mcsema [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/trailofbits/mcsema>.
6. LLDB – новый отладчик, развиваемый под эгидой проекта LLVM [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=26907>.

**Анисимов Дмитрий Владимирович**

Академия ФСО, г. Орел  
Сотрудник  
Тел.: 8 (4862) 54-99-38  
E-mail: [dimadikiy@mail.ru](mailto:dimadikiy@mail.ru)

**Мельников Павел Вячеславович**

Академия ФСО, г. Орел  
Кандидат технических наук, сотрудник  
Тел.: 8 (4862) 54-99-38  
E-mail: [palmel@inbox.ru](mailto:palmel@inbox.ru)

---

D.V. ANISIMOV (*Employee*)

P.V. MEL'NIKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Employee*)  
*Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel*

## CONDUCT CERTIFICATION RESEARCHES OF SOFTWARE USING THE TECHNOLOGY OF LLVM

*The article proposes an approach to the organization of certification researches software to ensure its safe operation using the LLVM technology.*

**Keywords:** *research of software; static and dynamic analysis; searching for vulnerabilities; not declared possibilities.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Rukovodyashhij dokument Gostexkomissii Rossii. Zashhita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Chast' 1. Programmnoe obespechenie sredstv zashhity' informacii. Klassifikaciya po urovnjam kontrolya otsutstviya nedeklarirovanny'x vozmozhnostej // Gostexkomissiya Rossii. – M., 1999.
2. The LLVM Compiler Infrastructure [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://llvm.org>.
3. Clang: a C language family frontend for LLVM [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://clang.llvm.org>.
4. The KLEE Symbolic Virtual Machine [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://klee.llvm.org>.
5. Mcsema [E'lektronny'j resurs]. – URL: <https://github.com/trailofbits/mcsema>.
6. LLDB – novy'j otladchik, razvivaemy'j pod e'gidoj proekta LLVM [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=26907>.

УДК 004.75

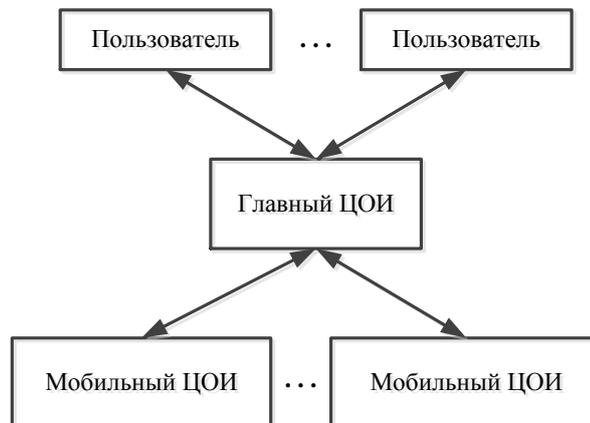
Е.В. ЛЕБЕДЕНКО, М.А. КУЦАКИН

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

В статье рассматривается необходимость автоматизированной поддержки актуальности и непротиворечивости данных во всех компонентах распределенной информационной системы за минимально возможным промежутком времени. Рассмотрены современные способы решения подобной задачи, а также описана и представлена модель функционирования распределенной информационной системы в виде конечного автомата.

**Ключевые слова:** распределенная информационная система; актуальность информации; согласованность данных; автоматная модель.

Существует некоторая распределенная информационная система (РИС). Она включает в себя конечных пользователей, которые связаны информационными каналами связи с главным центром обработки информации (ЦОИ), и мобильные ЦОИ. Мобильные центры возникают и завершают свою работу в рассматриваемой системе с течением времени, разворачиваясь в необходимых для решения поставленных управленческих задач местах и связываясь путем налаживания информационных каналов (их разновидность с точки зрения предполагаемых исследований неважна) с главным центром. При этом между собой мобильные центры никаких каналов связи не имеют. Рассматриваемая РИС наглядно представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Рассматриваемая распределенная информационная система**

Главные мобильные ЦОИ представляют собой автоматизированные рабочие места администраторов, на которых установлен набор специального программного обеспечения. При необходимости ввода или изменения информации в рассматриваемой РИС администратор вводит данные, используя имеющиеся на автоматизированных рабочих местах программы.

Для лучшего понимания проблемы исследования информацию, циркулирующую и хранящуюся в системе, будем представлять в следующем виде: в главном ЦОИ хранится вся информация РИС в виде информационной структуры, которую для удобства восприятия целесообразно представить в виде таблицы, в которую записывают свои изменения мобильные ЦОИ и администраторы главного ЦОИ. Примерный вид рассматриваемой информационной структуры представлен в таблице 1.

В мобильных ЦОИ циркулирует информация, которая является копией, необходимой для работы конкретного мобильного ЦОИ, части информационной структуры главного ЦОИ. Внося изменения в свою информационную структуру, мобильные ЦОИ отправляют эти

изменения в главный ЦОИ. Это необходимо для того, чтобы пользователи могли получить актуальную информацию при ответе на свой запрос, затрагивающий работу мобильных ЦОИ, обращаясь только к главному ЦОИ.

Таблица 1 – Пример информационной структуры рассматриваемой РИС

Дата проведения мероприятия	Название мероприятия	Время начала мероприятия	Время окончания мероприятия	Ответственное лицо
12.01.2000	Мер 1	09:00	10:00	И.И. Иванов
12.01.2000	Мер 2	10:00	11:00	П.П. Петров
12.01.2000	Мер 1	09:30	10:30	И.И. Иванов

Информация в главном ЦОИ может меняться не только по инициативе мобильных ЦОИ, но и администраторами главного ЦОИ. При этом решение об актуальности и непротиворечивости данных принимается только администратором, что может повлечь за собой задержку по принятию решения во времени, а также принятие ошибочных решений, обоснованных человеческим фактором.

Учитывая случайный характер потока запросов пользователей, возникает необходимость организации такого функционирования системы, чтобы актуальность и непротиворечивость данных во всех ЦОИ достигалась автоматически за минимально возможный промежуток времени.

Из рисунка 2 видно, что в процессе функционирования РИС значения времени начала и окончания для «Мер 1» в информационной структуре главного ЦОИ изменились.

Для обеспечения организации и информационного сопровождения «Мер 1» в рассматриваемой системе разворачивается мобильный ЦОИ 1, а для «Мер 2» – мобильный ЦОИ 2.

В случае, когда начало «Мер 2» зависит от окончания «Мер 1», в информационной структуре, представленной в таблице 1, хранятся неактуальные и несогласованные данные по «Мер 2». При этом зависимые мобильные ЦОИ 1 и 2, не имея каналов связи и являясь автономными узлами, не могут обмениваться данными для согласования информации.

Проблема поддержания актуальности и непротиворечивости данных, с которыми работает изучаемая РИС, заключается в том, чтобы информационные структуры, к которым направлены запросы конечных пользователей, были упорядочены не только по времени, но и по своему содержанию, логике. Опираясь на приведенный выше пример, другими словами можно сказать, что изначально «Мер 2» следовало после «Мер 1» и по порядку проведения, и по времени. После изменений данных «Мер 1» оказалось, что «Мер 2» наступит раньше, чем закончится «Мер 1». Для изучаемой РИС, учитывая автономность функционирования ее узлов и асинхронность изменения ими информационных структур, а также стохастический характер потока запросов пользователей рассматриваемой РИС, это является проблемным местом, которое требует разрешения такого рода конфликта за минимально короткий промежуток времени.

Рассматривая возможности современных технологий как способов решения представленной выше задачи, можно выделить следующие подходы к организации рассматриваемой системы:

- с помощью систем управления базами данных (СУБД), которые позволяют решать задачи, связанные с поддержанием целостности, согласованности и актуальности в реляционных базах данных [1-2];

- с помощью специальных механизмов поддержания согласованности, непротиворечивости и актуальности данных, таких, как Google File System, Dremel, Spanner и др., предложенные корпорацией Google и являющиеся проприетарными системами [3];

- с помощью проектирования и создания новых механизмов функционирования и взаимодействия компонентов рассматриваемой системы, направленных на то, что

актуальность и непротиворечивость информации в системе будет достигаться в минимально короткий промежуток времени.

Современные СУБД, безусловно, имеют все возможности для решения указанной проблемы. Однако стоит отметить, что любое проектирование и организация СУБД подразумевает под собой обязательное наличие модели данных, учитывающей все связи между ними. В рассматриваемой РИС подобная модель данных отсутствует и, следовательно, исключается возможность применить данный подход для решения поставленной задачи при организации изучаемой системы.

Специальные механизмы, представленные и широко используемые для организации подобных РИС компанией Google, решают задачу поддержания синхронизации и актуальности данных, поддерживают механизмы автоматической обработки отказов. Но перечисленные выше механизмы не могут учесть семантику данных и определить, какие же из них актуальны на момент запроса пользователя.

Таким образом, для построения изучаемой РИС необходимо разрабатывать новые механизмы взаимодействия ее компонентов, направленных на поддержание согласованности и актуальности данных с течением времени, учитывающих семантику хранящейся и изменяющейся в системе информации, а также видоизменение структуры РИС, автономность и асинхронность работы мобильных ЦОИ.

Можно отметить, что, учитывая разные состояния, в которых может находиться рассматриваемая РИС (например, функционировать без мобильных ЦОИ; функционировать со множеством ЦОИ, мероприятия в которых никак не взаимосвязаны; функционировать со множеством ЦОИ, когда мероприятия в некоторых из них взаимосвязаны), механизмы взаимодействия ее компонентов будут тоже различны. А изменять алгоритмы функционирования РИС с течением времени достаточно трудоемкая задача. Поэтому актуальным будет еще и то, что для того, чтобы решить поставленную задачу обучения РИС с течением времени, нужно будет выбирать такой алгоритм поддержания согласованности и актуальности данных, который необходим ей для развернутой на момент принятия решения структуры. Одними из подходов и способов решения такого рода проблем являются инструменты и язык темпоральной логики.

Учитывая настоящий момент времени, можно отметить повышенный спрос на использование РИС в повседневной деятельности многих частных и государственных структурах. Этим обусловлен тот факт, что моделированию механизмов взаимодействия компонентов РИС посвящено немало исследований. Наиболее распространенными и перспективными методами моделирования информационных систем являются имитационное моделирование, а также подход, основанный на использовании методов теории автоматов.

Имитационное моделирование обладает рядом достоинств: возможность многоуровневого описания исследуемой системы; наличие готовых модулей, имитирующих работу различного телекоммуникационного оборудования и протоколов; развитые средства сбора статистики и др. Однако в рамках решаемой задачи имитационное моделирование обладает рядом недостатков, которые не позволяют использовать его в полной мере: направленность на моделирование прежде всего коммуникационных систем, ограниченные возможности описания вычислительного процесса в самих узлах, скрытость алгоритмов функционирования ряда модельных блоков и отсутствие исходных кодов инструментальных средств, ограничения на выбор уровней детализации.

Рассматривая решаемую задачу по взаимодействию компонентов изучаемой РИС, направленному на достижение состояния согласованности и актуальности данных в системе, нам важно поддерживать это состояние на протяжении всей работы изучаемой РИС вне зависимости от того, какие события по изменению данных в ней происходят и какие события на это влияют. Выявление этих зависимостей, влияние и переходы из одного состояния системы в другое наглядно демонстрируют методы теории конечных автоматов.

Обоснование подхода, основанного на использовании методов теории автоматов, широко освещено в работе [4].

С точки зрения использования методов теории автоматов, представим работу системы в виде, показанном на рисунке 2. Видно, что у изучаемой РИС выделено четыре состояния. Первое является начальным и означает нахождение системы в состоянии покоя, когда с момента начала работы вся информация в ней считается актуальной. Остальные три состояния обосновываются тем, что при обработке изменяемых или вводимых в систему данных (посылке запроса на обновление информации) система переходит в состояние отправки сообщения или обработки запроса (ответа). Именно эти состояния содержат те события, которые влияют на актуальность и непротиворечивость данных в системе и впоследствии подвергнутся автоматизации.

Сведение количества состояний системы до небольшого числа еще и объясняется тем, что сложность верификации конечных автоматов, которую предполагается проводить в ходе исследования, растет пропорционально количеству состояний рассматриваемого автомата.

На рисунке 2 представлена работа главного ЦОИ рассматриваемой РИС. Особенностью функционирования главного ЦОИ является то, что у него имеется четвертое состояние (конфликт данных), которое и отвечает за решение проблемы по поддержанию согласованности и актуальности информации в системе. У мобильных ЦОИ состояний будет всего три и взаимодействие между ними останется без изменений.

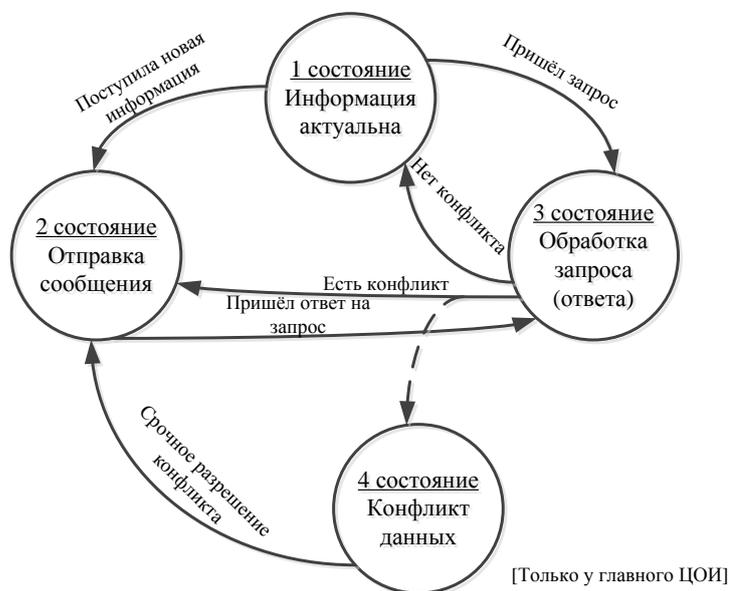


Рисунок 2 – Функционирование главного ЦОИ

Тогда общий вид системы, состоящей, к примеру, из главного и трех мобильных ЦОИ, будет представлять собой набор нескольких взаимодействующих автоматов (рис. 3). А задача разработки механизмов взаимодействия компонентов рассматриваемой системы, направленных на то, чтобы актуальность и непротиворечивость информации в системе достигалась в минимально короткий промежуток времени, сведется к тому, чтобы в момент возникновения конфликтной ситуации (например, конкурирующие запросы) была инициализирована работа всех задействованных в конфликте автоматов и они сработали бы так, чтобы каждый из них оказался в 1 состоянии.

Впервые проблема согласования взаимодействующих автоматов была сформулирована в 1991 году в [6], где было определено понятие согласованности двух частичных недетерминированных автоматов Мура и предложены алгоритмы согласования автоматов с конечной памятью.

Сложность данного вопроса заключается в том, что при согласовании взаимодействующих автоматов возникает проблема, связанная с доказуемостью возможности их реализации [7]. Это является дальнейшим направлением исследования по работе в данной предметной области.

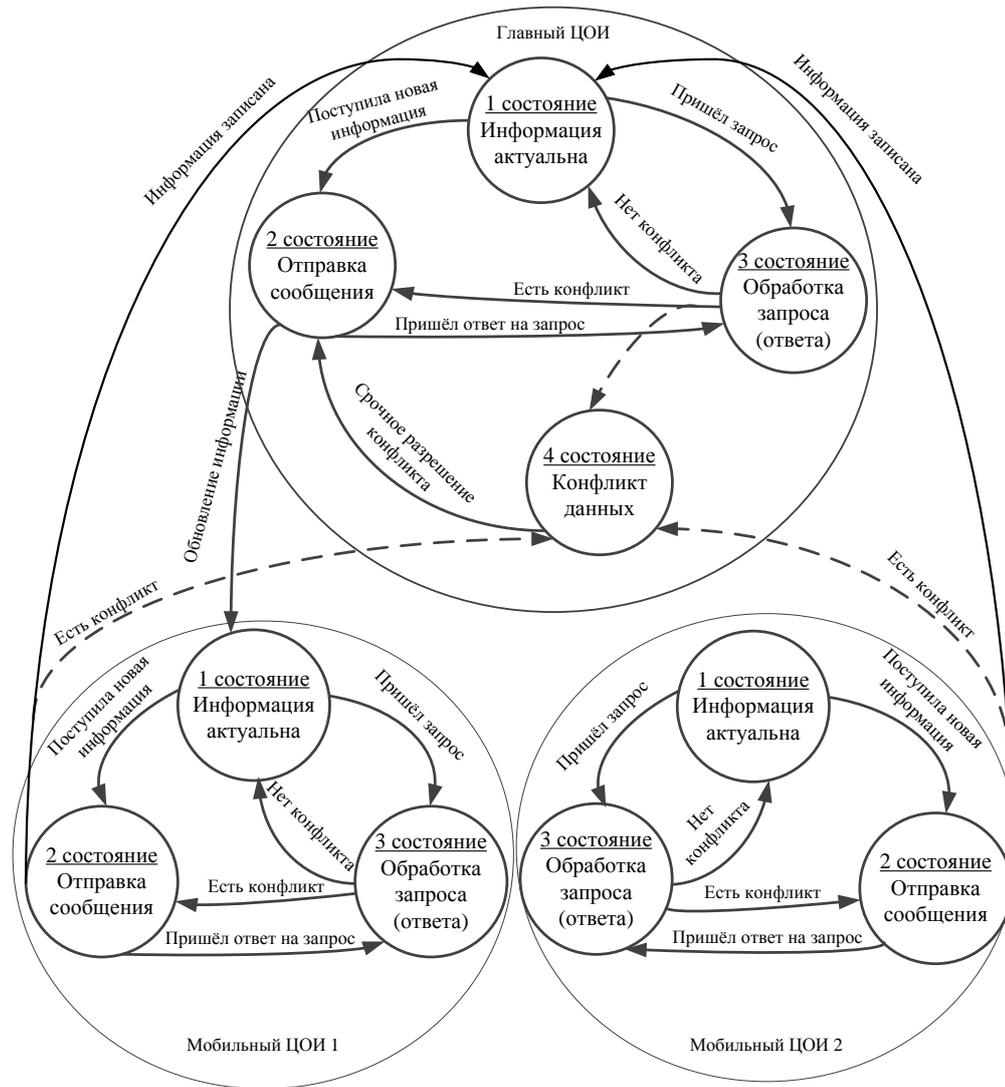


Рисунок 3 – Функционирование рассматриваемой распределенной информационной системы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дейт К. Введение в системы баз данных. – 7 изд. – М.: СПб: Вильямс, 2001. – 8-е изд. – М.: СПб.: Вильямс, 2005.
2. Черноусова А.М. Создание и использование баз данных: учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009.
3. Статьи из цикла Google Platform [Электронный ресурс]. – URL: <http://habrahabr.ru/post/206972/>.
4. Меньших В.В., Петрова Е.В. Использование конечных автоматов для моделирования распределенных информационных систем // Моделирование систем и информационные технологии: межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 5. – АНОО ВИБТ, РосНОУ (ВФ). – Воронеж: Научная книга, 2008. – 331 с.
5. Кудрявцев В.Б., Алешин С.В., Подколзин А.С. Введение в теорию автоматов. – М.: Наука, 1985. – 320 с.
6. Чеботарев А.Н. Взаимодействие автоматов. – Кибернетика и системный анализ, 1991. – № 6. – С. 17-29.
7. Чеботарев А.Н. Согласование взаимодействующих автоматов. – Кибернетика и системный анализ, 2015. – № 5. – С. 13-25.

Лебеденко Евгений Викторович  
Академия ФСО России, г. Орел

Профессор  
Тел.: 8 (8462) 54-98-48  
E-mail: lebedenko\_eugene@mail.ru

**Куцакин Максим Алексеевич**  
Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник  
Тел.: 8 (8462) 54-98-48  
E-mail: max\_kooks@mail.ru

---

E.V. LEBEDENKO (*Professor*)

M.A. KUCAKIN (*Employee*)  
*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**REPRESENTATION OF THE COMPONENTS INTERACTION  
IN A DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM  
FROM THE POINT OF FINITE AUTOMATS THEORY**

*The article discusses the need for automated support of the relevance and consistency of data in all components of a distributed information system in the shortest possible time. The modern ways of solving this problem, as well as a model and describes the functioning of a distributed information system in the form of a finite automat.*

**Keywords:** *distributed information system; relevance of information; consistency; automat model.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Dejt K. Vvedenie v sistemy' baz danny'x. – 7 izd. – M.: SPb: Vil'yams, 2001. – 8-e izd. – M.: SPb.: Vi'yams, 2005.
2. Chernousova A.M. Sozdanie i ispol'zovanie baz danny'x: uchebnoe posobie. – Orenburg: GOU OGU, 2009.
3. Stat'i iz cikla Google Platform [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://habrahabr.ru/post/206972/>.
4. Men'shix V.V., Petrova E.V. Ispol'zovanie konechny'x avtomatov dlya modelirovaniya raspredelenny'x informacionny'x sistem // Modelirovanie sistem i informacionny'e tehnologii: mezhvuzovskij sbornik nauchny'x trudov. – Vy'p. 5. – ANOO VIVT, RosNOU (VF). – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2008. – 331 s.
5. Kudryavcev V.B., Aleshin S.V., Podkolzin A.S. Vvedenie v teoriyu avtomatov. – M.: Nauka, 1985. – 320 s.
6. Chebotarev A.N. Vzaimodejstvie avtomatov. – Kibernetika i sistemny'j analiz, 1991. – № 6. – S. 17-29.
7. Chebotarev A.N. Soglasovanie vzaimodejstvuyushix avtomatov. – Kibernetika i sistemny'j analiz, 2015. – № 5. – S. 13-25.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ  
И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ  
И ОБРАБОТКИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ПОТОКА ВИДЕОДАНЫХ**

*В статье рассматривается математическая модель процесса контроля и управления доступом с использованием технологии формирования и обработки мультимедийного потока видеоданных. Отличительной особенностью модели являются множество состояний точек доступа и операторы перехода между ними, а также использование кадра-вставки для формирования мультимедийного потока видеоданных и его последующей обработки.*

**Ключевые слова:** математическая модель; контроль и управление доступом; мультимедийный поток видеоданных.

В настоящее время системы контроля и управления доступом (СКУД) получили большое распространение и внедряются не только на режимных объектах, но и в большинстве общественных мест. Они используются многими компаниями и предприятиями. Известные разработки СКУД отечественных и зарубежных компаний не позволяют обеспечить визуальную идентификацию объекта доступа (ОД) оператором уже при количестве точек доступа (ТД), большим 8-12. Научно-исследовательским подразделением полиции Великобритании (PSDB) установлено, что точность обнаружения человека оператором по существенным признакам при наблюдении за изображением на одном мониторе составляет 85%, четырех мониторах – 74%, а на шести и девяти – 58% и 53% соответственно. Кроме того, в большей степени развиты СКУД с техническими или биометрическими идентификаторами, несмотря на то, что минимальную ошибку в принятии решения может обеспечить человек – оператор. Это обуславливает актуальность исследования вопроса автоматизации процесса визуальной идентификации ОД в СКУД.

Современные автоматизированные СКУД предприятий представляют собой организационно-технические системы [1], основными элементами которых являются: операторы, объекты управления и вычислительные комплексы с соответствующим программным и математическим обеспечением, а также сеть, обеспечивающая передачу данных между объектом и субъектом управления (СУ) (рис. 1). Главная цель данной системы – обеспечение контроля и управление доступом, под которым понимается комплекс мероприятий, направленных на ограничение и санкционирование доступа людей, транспорта и других объектов (далее – объектов доступа) в (из) помещения, здания, зоны и территории [2].

Совокупность программно-аппаратных средств и людей, принимающих решения о допуске в СКУД, рассматривается как СУ.

Контроль и управление доступом можно рассматривать как процесс, реализуемый СКУД и осуществляемый для выработки по результатам наблюдений состояний точек доступа (ТД), необходимых воздействий на исполнительные устройства (ИУ), с целью ограничения и санкционирования перемещения ОД через управляемые преграждающие устройства (УПУ).

Под ТД понимаются места, где непосредственно осуществляется контроль доступа [2], поэтому они рассматриваются как территории, помещения, зоны и пространства, на которых могут находиться и находятся объекты доступа, группа быстрого реагирования (ГБР), блокирующие устройства (БУ), а также УПУ, оборудованные ИУ. Состояние ТД определяется статусом ОД, наличием или отсутствием ГБР, а также состояниями УПУ.

Люди, транспорт и другие объекты, относительно которых принимается решение об их санкционированном или несанкционированном доступе, являются ОД. Статус ОД определяется наличием или отсутствием у него права доступа.

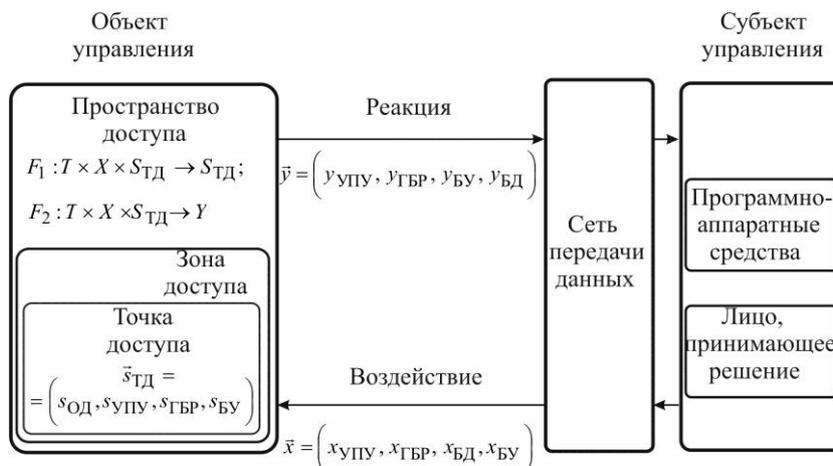


Рисунок 1 – Обобщенная модель СКУД

К УПУ в СКУД относятся устройства, обеспечивающие физическое препятствие перемещению ОД в ТД. В зависимости от реализации ТД УПУ могут быть двери, ворота, турникеты, шлюзы, проходные кабины и т.д., которые имеют два состояния: открытое, при котором обеспечивается допуск субъекта, и закрытое, при котором допуск запрещен.

Устройства или механизмы, обеспечивающие приведение в открытое или закрытое состояние УПУ сигналам, поступающим от устройства управления, называются ИУ.

Устройства управления (УУ) представляют собой устройства и программные средства, устанавливающие режим доступа и обеспечивающие прием и обработку информации от ТД, в частности, от устройств ввода идентификационных признаков (УВИП), камер видеонаблюдения и т.д., управление ИУ, отображение и регистрацию информации.

Совокупность ТД, связанных общим местоположением, организационно-техническими принципами или другими характеристиками, рассматривается как зона доступа (ЗД). Состояние зоны доступа характеризуется состояниями ТД. При этом совокупность ЗД, связанных общими организационно-техническими принципами или другими характеристиками, рассматривается как пространство доступа (ПД); состояние ПД характеризуется состояниями ЗД.

Одной из основных задач контроля и управления доступом является выработка по результатам наблюдений  $Y$  состояний  $S_{\text{ОД}}$  точек доступа, необходимых воздействий  $X$  [3, 4] на УПУ, ГБР и блокирующие устройства с целью ограничения или санкционирования перемещения людей, транспорта и других объектов через УПУ.

Для описания задачи контроля используем модель, предложенную Юсуповым Р.М. и Дмитриевым А.К. Формально данную задачу можно представить в виде уравнений (отображений  $F_1$  «вход – выход» и  $F_2$  «состояние – выход»):

$$F_1 : T \times X \times S_{\text{ОД}} \rightarrow S_{\text{ОД}}; \quad (1)$$

$$F_2 : T \times X \times S_{\text{ОД}} \rightarrow Y, \quad (2)$$

где  $T$  – множество моментов времени, в которые наблюдается ТД;  $X$  – множество входных сигналов (воздействий) на элементы ТД;  $Y$  – множество выходных сигналов (реакций) ТД;  $S_{\text{ОД}}$  – множество состояний точки доступа.

Решение данной задачи можно свести к нахождению операторов  $F_1$  и  $F_2$ , определяющих необходимое состояние точек доступа  $S_{\text{ОА}}$  для обеспечения требуемого качества контроля и управления доступом (рис. 2).

Входные воздействия  $\vec{x} \in X$  на точку доступа представляют собой вектор  $\vec{x} = (x_{\text{ОЮ}}, x_{\text{ААД}}, x_{\text{АА}}, x_{\text{АО}})^{\text{D}}$ , элементами которого являются воздействия  $x_{\text{ОЮ}}$ ,  $x_{\text{ААД}}$ ,  $x_{\text{АА}}$ ,  $x_{\text{АО}}$  на УПУ, на ГБР, базу данных (БД) и БУ соответственно.

Реакция точки доступа  $\vec{y} \in Y$  описывается вектором выходных эффектов  $\vec{y} = (y_{\text{ИА}}, y_{\text{ОЮ}}, y_{\text{ААД}}, y_{\text{АО}})^{\text{T}}$ , элементами которого являются величины  $y_{\text{ИА}}$ ,  $y_{\text{ОЮ}}$ ,  $y_{\text{ААД}}$ ,  $y_{\text{АО}}$ , характеризующие состояния  $s_{\text{ИА}}$ ,  $s_{\text{ОЮ}}$ ,  $s_{\text{ААД}}$ ,  $s_{\text{АО}}$  соответственно ОД, УПУ, ГБР и БУ.

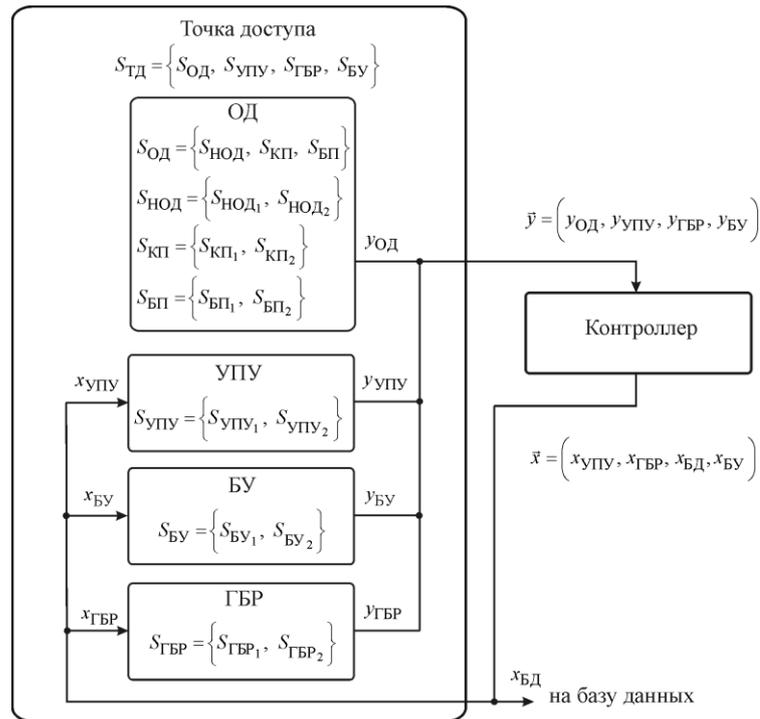


Рисунок 2 – Пояснения к формулировке задачи контроля и управления доступом

Под состоянием  $\vec{s}(t_0)$  системы (элементов системы) в момент времени  $t_0$  понимается такой вектор параметров, что реакция  $\vec{y}(t)$  для любого момента времени  $t > t_0$  определяется однозначно по воздействию  $\vec{x}(t)$ , заданному для промежутка  $[t_0, t]$  независимо от значений  $\vec{x}(t)$  для момента времени  $t < t_0$ . Таким образом, состояние  $\vec{s}(t_0)$  – это вся информация о предыстории системы.

С учетом данного определения каждое состояние точки доступа  $\vec{s}_{\text{ОА}} = (s_{\text{ИА}}, s_{\text{ОЮ}}, s_{\text{ААД}}, s_{\text{АО}}) \in S_{\text{ОА}}$  характеризуется в произвольный момент времени  $t \in T$  набором переменных (параметров состояний)  $s_{\text{ИА}}$ ,  $s_{\text{ОЮ}}$ ,  $s_{\text{ААД}}$ ,  $s_{\text{АО}}$ , изменяющихся под влиянием воздействий  $\vec{x} = (x_{\text{ОЮ}}, x_{\text{ААД}}, x_{\text{АА}}, x_{\text{АО}})$ , формируемых контроллером.

Множество состояний ТД описывается выражением

$$S_{\text{ОА}} = \{S_{\text{ИА}}, S_{\text{ОЮ}}, S_{\text{ААД}}, S_{\text{АО}}\}, \quad (3)$$

где  $S_{\text{ИА}}$  – множество состояний ОД;  $S_{\text{ИА}}$  – множество состояний ОД по его нахождению в ТД;  $S_{\text{ЮИ}}$  – множество состояний ОД по наличию у него кодового идентификатора;  $S_{\text{АИ}}$  –

множество состояний ОД по наличию у него биометрического признака;  $S_{\text{ОЮ}}$  – множество состояний УПУ;  $S_{\text{ААБ}}$  – множество состояний ГБР;  $S_{\text{АО}}$  – множество состояний БУ.

Поскольку СКУД является организационно-технической, то ее модель включает следующие основные элементы (рис. 3): ТД (в совокупности образующие ЗД); сеть передачи данных (СПД), обеспечивающую передачу данных от ТД к СУ; СУ, включающий в себя людей, принимающих решение, а также совокупность аппаратно-программных комплексов и средств; БД для хранения информации об идентификационных признаках объектов доступа и состояний ТД.

Для решения научной задачи повышения эффективности контроля и управления доступом персонала на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства в диссертационной работе использовано формализованное представление этой системы в виде множества

$$Q_{\text{СКУД}} = \{S_{\text{ТД}}(t), X_{\text{ТД}}(t), Y_{\text{ТД}}(t), Q_{\text{СПД}}, Q_{\text{ЦПП}}, K_{\text{ИЕА}}(t), K_{\text{АИ}}(t), K_{\text{И}}(t), T, F_1, F_2, F_3, F_4\}, \quad (4)$$

элементами которого являются подмножества, характеризующие в момент времени  $t \in T$ : состояния ПД  $S_{\text{ИА}}(t)$ ; входные воздействия на ТД  $X(t)$ ; реакции ТД  $Y(t)$ ; видеопоток  $K_{\text{АИ}}(t)$ ; поток кадров-вставок  $K_{\text{ИЕА}}(t)$ ; мультимедийный поток  $K_{\text{И}}(t)$ , а также подмножества, описывающие: структуру СПД  $Q_{\text{СПД}}$ ; механизм изменения состояний ТД по входным воздействиям (оператор  $F_1$ ); механизм формирования выходного сигнала как реакцию ТД на внутренние и внешние воздействия (оператор  $F_2$ ); алгоритм формирования мультимедийного потока (оператор  $F_3$ ); алгоритм выделения кадров-вставок и восстановления видеопотока (оператор  $F_4$ ).

Состояния пространства, зон и точек доступа, характеризующих санкционированные или несанкционированные доступы в них, выражаются следующими множествами в момент времени  $t$ :  $S_{\text{ИА}}(t) = \{S_{\text{СА}}(t)/n = \overline{1, N^{\text{ИА}}}\}$  – множество состояний ЗД  $S_{\text{СА}}$  в ПД;  $S_{\text{СА}}(t) = \{S_{\text{ОА}_m}^n(t)/m = \overline{1, M^{\text{СА}}}\}$  – множество состояний ТД  $S_{\text{ОА}_m}^n$  в  $n$ -ой ЗД;  $S_{\text{ОА}_m}^n(t) = \{\bar{s}_i^{n,m}(t)/i = \overline{1, 64}\}$  – множество состояний  $\bar{s}_i^{n,m}$   $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $\bar{s}_i^{n,m}(t) = (s_{\text{ИА}}^{n,m}(t), s_{\text{ИЕИ}}^{n,m}(t), s_{\text{АИ}}^{n,m}(t), s_{\text{ОЮ}}^{n,m}(t), s_{\text{ААБ}}^{n,m}(t), s_{\text{АО}}^{n,m}(t))$  –  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $s_{\text{ИА}}^{n,m}(t)$  – переменная, принимающая два значения («0», «1») и характеризующая  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД по наличию или отсутствию в ней ОД;  $s_{\text{ИЕИ}}^{n,m}(t)$  – переменная, принимающая два значения («0», «1») и характеризующая  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД по наличию или отсутствию у ОД кодового признака (КП), используемого для идентификации ОД, находящегося в этой ТД;  $s_{\text{АИ}}^{n,m}(t)$  – переменная, принимающая два значения («0», «1») и характеризующая  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД по наличию или отсутствию у ОД биометрического признака (БП), используемого для идентификации ОД, находящегося в этой ТД;  $s_{\text{ОЮ}}^{n,m}(t)$  – переменная, принимающая два значения («0», «1») и характеризующая  $i$ -ое состояние  $m$ -ой точки доступа в  $n$ -ой зоне доступа по открытому или закрытому состоянию управляемого преграждающего устройства;  $s_{\text{ААБ}}^{n,m}(t)$  – переменная, принимающая два значения («0», «1») и характеризующая  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД по наличию или отсутствию в ней ГБР;  $s_{\text{АО}}^{n,m}(t)$  – переменная, принимающая два значения («0», «1») и характеризующая  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД по открытому или закрытому состоянию БУ.

Поскольку каждое  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД в момент времени  $t$  характеризуется шестью переменными, имеющими два значения, то общее число состояний ТД равно  $2^6$ .

В соответствии с предложенной математической формулировкой задачи контроля и управления доступом состояния ТД и, следовательно, ЗД изменяются под воздействием как внешних факторов (условий), так и сигналов (входных воздействий), поступающих через СПД от СУ (контроллера).

Пространство входных воздействий выражается следующими множествами в момент времени  $t$ :  $X_{i\bar{A}}(t) = \{X_{\bar{C}\bar{A}}(t)/n = \overline{1, N^{i\bar{A}}}\}$  – множество воздействий на состояния ЗД  $S_{\bar{C}\bar{A}}(t)$  в ПД;  $X_{\bar{C}\bar{A}}(t) = \{X_{\bar{O}\bar{A}_m}^n(t)/m = \overline{1, M^{C\bar{A}}}\}$  – множество воздействий на состояния ТД  $S_{\bar{O}\bar{A}_m}^n(t)$  в  $n$ -ой ЗД;  $X_{\bar{O}\bar{A}_m}^n(t) = \{\bar{x}_i^{n,m}(t)/i = \overline{1, 16}\}$  – множество воздействий на состояние  $\bar{s}_i^{n,m}$   $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $\bar{x}_i^{n,m}(t) = (x_{\bar{O}\bar{I}\bar{O}_i}^{n,m}(t), x_{\bar{A}\bar{A}\bar{F}}^{n,m}(t), x_{\bar{A}\bar{O}_i}^{n,m}(t), x_{\bar{A}\bar{A}_i}^{n,m}(t))$  –  $i$ -ое воздействие на состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $x_{\bar{O}\bar{I}\bar{O}_i}^{n,m}(t)$  – параметр, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий воздействие на  $i$ -ое состояние УПУ, находящегося в  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $x_{\bar{A}\bar{A}\bar{F}}^{n,m}(t)$  – параметр, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий воздействие на  $i$ -ое состояние ГБР, необходимой для прибытия (убытия) в (из)  $m$ -ую ТД  $n$ -ой ЗД;  $x_{\bar{A}\bar{O}_i}^{n,m}(t)$  – параметр, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий воздействие на  $i$ -ое состояние БУ, находящегося в  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $x_{\bar{A}\bar{A}_i}^{n,m}(t)$  – параметр, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий воздействие на  $i$ -ое состояние БД, обеспечивающее запись видеопотока и кадров-вставок, несущих сведения о состоянии  $m$ -ой ТД по наличию или отсутствию идентификационных признаков у ОД, находящихся в  $n$ -ой ЗД.

Несмотря на то, что общее количество векторов воздействий на конкретную ТД равно  $2^4$ , а число всевозможных состояний этой ТД  $2^6$ , полное пространство воздействий, используемых в модели, является достаточным для обеспечения необходимого состояния ТД, при котором гарантируется санкционированный доступ.

В соответствии с общей постановкой задачи воздействия  $\bar{x}_i^{n,m}(t)$  вызывают в ТД реакцию.

Пространство реакций входных воздействий выражается следующими множествами в момент времени  $t$ :  $Y_{i\bar{A}}(t) = \{Y_{\bar{C}\bar{A}}(t)/n = \overline{1, N^{i\bar{A}}}\}$  – множество реакций на входные воздействия, характеризующих состояния ЗД  $S_{\bar{C}\bar{A}}(t)$  в ПД;  $Y_{\bar{C}\bar{A}}(t) = \{Y_{\bar{O}\bar{A}_m}^n(t)/m = \overline{1, M^{C\bar{A}}}\}$  – множество реакций на входные воздействия, характеризующих состояния ТД  $S_{\bar{O}\bar{A}_m}^n(t)$  в  $n$ -ой ЗД;  $Y_{\bar{O}\bar{A}_m}^n(t) = \{\bar{y}_i^{n,m}(t)/i = \overline{1, 16}\}$  – множество реакций на входные воздействия, характеризующих состояния  $\bar{s}_i^{n,m}$   $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $\bar{y}_i^{n,m}(t) = (y_{\bar{O}\bar{I}\bar{O}_i}^{n,m}(t), y_{\bar{A}\bar{A}\bar{F}}^{n,m}(t), y_{\bar{A}\bar{O}_i}^{n,m}(t), y_{\bar{A}\bar{A}_i}^{n,m}(t))$  –  $i$ -ая реакция на воздействие  $\bar{x}_i^{n,m}(t)$ , характеризующая состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $y_{\bar{O}\bar{I}\bar{O}_i}^{n,m}(t)$  – параметр реакции ТД, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий  $i$ -ое состояние  $s_{\bar{O}\bar{I}\bar{O}_i}^{n,m}(t)$  УПУ, находящегося в  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $y_{\bar{A}\bar{A}\bar{F}}^{n,m}(t)$  – параметр реакции ТД, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий  $i$ -ое состояние  $s_{\bar{A}\bar{A}\bar{F}}^{n,m}(t)$  ГБР по прибытию (убытию) в (из)  $m$ -ую ТД  $n$ -ой ЗД;  $y_{\bar{A}\bar{O}_i}^{n,m}(t)$  – параметр реакции ТД, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий  $i$ -ое состояние  $s_{\bar{A}\bar{O}_i}^{n,m}(t)$  БУ, находящегося в  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД;  $y_{\bar{A}\bar{A}_i}^{n,m}(t)$  – параметр реакции ТД, принимающий два значения («0», «1») и характеризующий  $i$ -ое состояние  $s_{\bar{A}\bar{A}_i}^{n,m}(t)$  БД, обеспечивающее запись (воспроизведение)

видеопотока и кадров-вставок, несущих сведения о состоянии  $m$ -ой ТД по наличию или отсутствию идентификационных признаков у ОД, находящихся в  $n$ -ой ЗД.

Поскольку ТД в этой модели представлены в виде упорядоченного множества (3) и считаются наблюдаемыми в состоянии  $\bar{s}(t) \in S$  на множестве моментов времени  $T = \{\tau\}$  при входном воздействии  $\bar{x}(t) \in X$ , всякому изменению вектора выхода  $\bar{y}(t) \in Y$  при фиксированном векторе  $\bar{x}(t) \in X$  соответствует определенное изменение вектора состояния объекта, то есть:

$$\bar{y}(t_1) \neq \bar{y}(t_2) \Rightarrow \bar{s}(t_1) \neq \bar{s}(t_2); \quad \forall t_1, t_2 \in T \quad (5)$$

Благодаря этому выходные переменные  $y_j, j = \overline{1, J}$  используются в качестве признаков наблюдаемого текущего состояния точки доступа.

В модели аппаратные и программные средства решения задач наблюдения применяются для отыскания таких отображений  $F_1: T \times X \times S_{\text{ОА}} \rightarrow S_{\text{ОА}}$ ; и  $F_2: T \times X \times S_{\text{ОХ}} \rightarrow Y$ , которые при фиксированных значениях  $t \in T$  и  $\bar{x}(t) \in X$  обеспечивает выполнение сформулированных выше условий полной наблюдаемости этого объекта. В данных отображениях использованы следующие обозначения:  $F_1$  – оператор переходов, отражающий механизм изменения состояния ОД под действием внутренних и внешних возмущений;  $F_2$  – оператор выходов, описывающий механизм формирования выходного сигнала как реакцию ТД на внутренние и внешние воздействия.

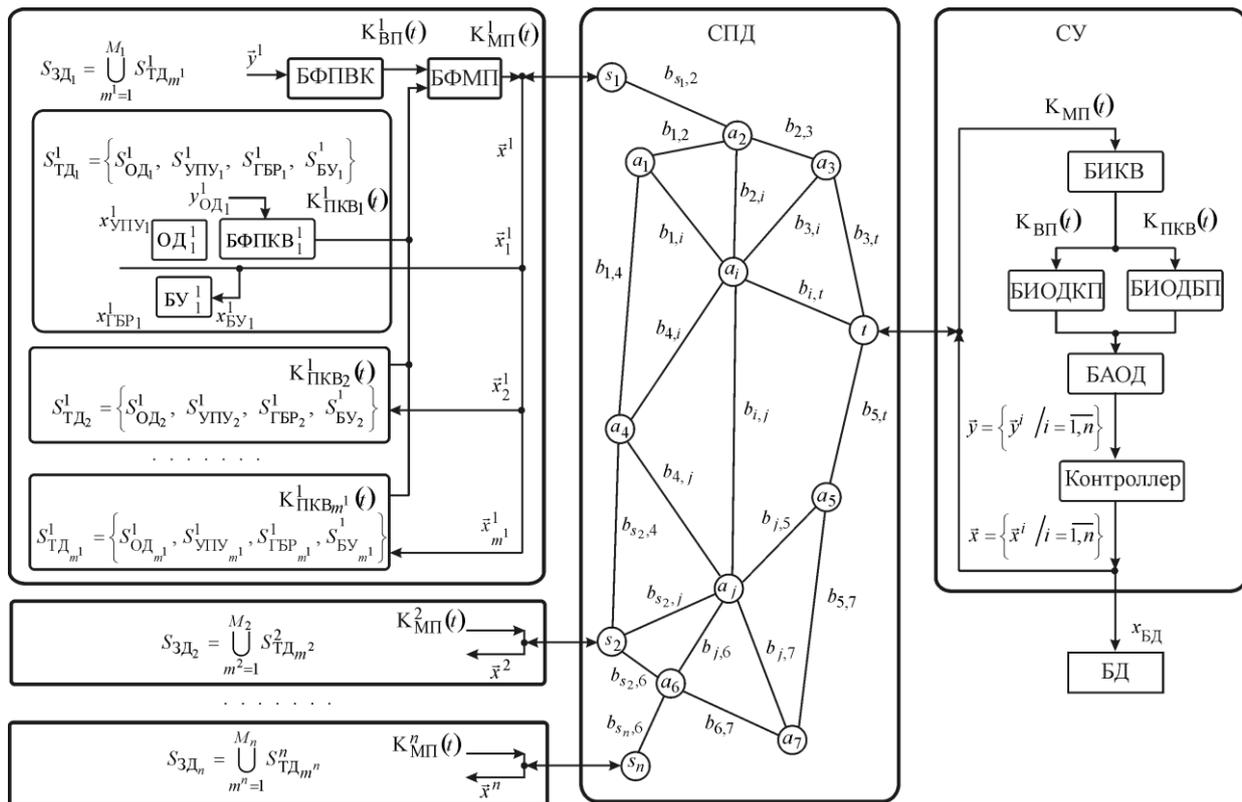


Рисунок 3 – Математическая модель СКУД, основанной на передаче мультимедийного потока

Учитывая, что современные СКУД предприятий являются территориально-распределенными, в предложенной модели обмен данными между ЗД и СД осуществляется по СПД, представленной в виде множества

$$Q_{\text{НТД}} = \{A, B, C, S, T, W, V\}, \quad (6)$$

элементы которого характеризуют узловую основу  $A$ , сетку линий  $B$ , истоки  $S$ , стоки  $T$  и пропускную способность ребер сети  $C$  (рис. 3).

Вершины модели  $a_n$  соответствуют узлам сети передачи данных и определенным образом пронумерованы. Совокупность всех вершин  $a_n$  модели будем называть узловой основой и обозначать в виде множества  $A = \{a_n / n = \overline{1, N}\}$ , где  $a_n$  –  $n$ -ый узел сети (вершина модели);  $N$  – количество вершин в модели.

Некоторые узлы модели попарно соединены ветвями. Каждая  $m$ -ая ветвь модели, соединяющая узлы  $a_i$  и  $a_j$  (которую в дальнейшем будем обозначать символом  $b_m^{i,j}$ ), представляет цифровую линию электросвязи моделируемой сети вместе со всеми ее оконечными устройствами в узлах  $a_i$  и  $a_j$ .

Совокупность всех линий модели, называемая в теории связи сеткой линий, характеризуется определенной конфигурацией. В дальнейшем будем обозначать эту совокупность в виде множества ветвей  $B = \{b_m^{i,j} / m = \overline{1, M}; i, j = \overline{1, N}\}$ , где  $M$  – количество ветвей в сети;  $N$  – количество узлов в модели.

При решении задач будем использовать направленную и ненаправленную ветвь. Для определенности ненаправленную ветвь  $b_m^{i,j} \in B$  назовем ребром, а направленную – дугой. Дугу, в отличие от ребра, будем обозначать символом  $\vec{b}_m^{i,j}$ , а совокупность дуг – множеством  $\vec{B} = \{\vec{b}_m^{i,j} / m = \overline{1, M}; i, j = \overline{1, N}\}$ .

На основании общепринятого подхода для удобства моделирования один из узлов корреспондирующей пары будем называть истоком, а другой стоком, и обозначать  $s_k$  и  $t_l$  соответственно, памятуя о том, что реально практически все линии первичной сети связи являются дуплексными. Совокупность истоков и стоков образуют множества  $S = \{s_k / k = \overline{1, K}\}$  и  $T = \{t_l / l = \overline{1, L}\}$  соответственно.

Истоки  $s_k$  и стоки  $t_l$  связаны между собой отношениями типа «исток-сток», «исток-стоки», «сток-истоки». Кроме того, в общем случае множества истоков и стоков могут частично пересекаться, то есть  $S \cap T \neq \emptyset$ .

В работе мультимедийный поток  $K_{\Pi}(t) = K_{\vec{A}\vec{I}}(t) \cup K_{\vec{I}\vec{E}\vec{A}}(t)$  рассматривается как последовательность кадров  $K_{\vec{n}\vec{o}_1}, K_{\vec{n}\vec{o}_2}, \dots, K_{\vec{n}\vec{o}_k}, \dots$ , поступающих от устройств видеонаблюдения систем управления и контроля доступом.

Данная последовательность включает видеокadres  $K_{\vec{a}\vec{e}\vec{a}_k} \in K_{\vec{A}\vec{I}}(t) = K_{\vec{a}\vec{e}\vec{a}_1}, K_{\vec{a}\vec{e}\vec{a}_2}, \dots, K_{\vec{a}\vec{e}\vec{a}_k}, \dots$  и кадры-вставки  $K_{\vec{a}\vec{n}\vec{o}_k} \in K_{\vec{I}\vec{E}\vec{A}}(t) = K_{\vec{a}\vec{n}\vec{o}_1}, K_{\vec{a}\vec{n}\vec{o}_2}, \dots, K_{\vec{a}\vec{n}\vec{o}_k}, \dots$

В работе будем различать два класса кадров  $\Psi_1, \Psi_2 \in \Psi$  в мультимедийном потоке. Класс  $\Psi_1$  объединяет видеокadres (кадры видеосюжета)  $K_{\vec{a}\vec{e}\vec{a}_k} \in \Psi_1$  мультимедийного потока, которые несут сведения о наблюдаемом объекте в период его обычного функционирования (когда вопрос о допуске персонала к объекту не рассматривается). Класс  $\Psi_2$  объединяет кадры-вставки  $K_{\vec{a}\vec{n}\vec{o}_k} \in \Psi_2$  мультимедийного потока, которые несут сведения о наблюдаемом объекте в период его активного функционирования (когда решается вопрос о допуске персонала к наблюдаемому объекту).

Алгоритм формирования мультимедийного потока представлен в виде отображения

$$F_3 : K_{\vec{A}\vec{I}}(t), K_{\vec{I}\vec{E}\vec{A}}(t) \rightarrow K_{\Pi}(t), \quad (7)$$

а алгоритм выделения кадра вставки и восстановления видеопотока – отображением

$$F_4 : K_{\text{И}}(t) \rightarrow K_{\text{АИ}}(t), K_{\text{ИЭА}}(t). \quad (8)$$

Идентификация кадров-вставок мультимедийного потока осуществляется в блоке идентификации кадров-вставок (БИКВ) при предположении, что изображения видеок кадров  $K_{\text{аэа}}^k$  и кадров-вставок  $K_{\text{аио}k}$  являются растровыми, то есть представляющими собой сетку пикселей – цветных точек на носителе цифрового изображения.

Идентификацию кадров-вставок будем осуществлять при предположении, что изображения кадров мультимедийного потока являются растровыми. Выбор в работе растрового изображения обосновывается теми характеристиками и достоинствами, которыми они обладают [5].

При растровом изображении  $k$ -ый кадр можно представить в виде множества пикселей  $\pi_{i,j}^k$  на прямоугольном носителе, которое математически будем описывать двумерной матрицей  $K_{\text{ио}k} = \|\pi_{i,j}^k\|, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$ , где  $k$  – номер наблюдаемого кадра,  $i$  и  $j$  – номера столбца и строки матрицы соответственно, на пересечениях которых расположен пиксель.

Поскольку пиксель  $\pi_{i,j}^k$  характеризуется определенным цветом  $c_{i,j}^k$ , то растровым изображением кадра является множество цветных точек на носителе видеоинформации:

$$I_k = \|\|c_{i,j}^k\|\|, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}.$$

При описании цвета пикселя будем использовать аддитивную цветовую модель предложенную Максвеллом Д.К. – RGB (Red, Green, Blue), основанную на декартовой системе координат с осями величин  $r$ ,  $g$  и  $b$ , значения которых определяют интенсивности красного, зеленого и синего цветов соответственно [6, 7].

Учитывая, что в данной модели цвет  $c_{i,j}^k$  пикселя  $k$ -го кадра характеризуется интенсивностями трех цветовых составляющих  $r_{ij}^k, g_{ij}^k, b_{ij}^k$ , то величину  $c_{ij}^k$  в дальнейшем математически будем описывать упорядоченным множеством  $c_{ij}^k = (r_{ij}^k, g_{ij}^k, b_{ij}^k)$ . Таким образом, в модели RGB цветовое пространство пикселя (цветовая палитра пикселя)  $c_{ij}^k = (r_{ij}^k, g_{ij}^k, b_{ij}^k)$  можно представить в виде куба, показанного на рисунке 4 [6, 7]. Различные цвета в этой модели представляют собой точки на поверхности или внутри куба и определяются вектором, проведенным в данную точку из начала координат.

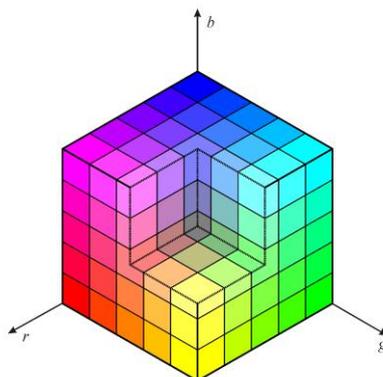


Рисунок 4 – Цветовое пространство пикселя в модели RGB

С учетом введенных обозначений цвета пикселя  $c_{i,j}^k$  и определения кадра  $k$  изображение  $I_k$   $k$ -го кадра представим в форме матрицы размером  $I \times J$ , где  $I$  и  $J$  – соответственно число столбцов и строк матрицы:

$$I_k = \begin{bmatrix} c_{0,0}^k & c_{0,1}^k & \cdots & c_{0,J-1}^k \\ c_{1,0}^k & c_{1,1}^k & \cdots & c_{1,J-1}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{I-1,0}^k & c_{I-1,1}^k & \cdots & c_{I-1,J-1}^k \end{bmatrix}. \quad (9)$$

В предлагаемой модели СКУД идентификация объекта доступа осуществляется в блоках идентификации объекта доступа по кодовому признаку (БИОДКП) и по биометрическому признаку (БИОДБП) по наличию информации о кодовом и биометрическом признаках, передаваемых соответственно в видеопотоке  $K_{\text{AI}}(t) = \kappa_{\text{aea}_1}, \kappa_{\text{aea}_2}, \dots, \kappa_{\text{aea}_k}, \dots$  и потоке кадров-вставок  $\kappa_{\text{an}\hat{\alpha}_k} \in K_{\text{IEA}}(t) = \kappa_{\text{an}\hat{\alpha}_1}, \kappa_{\text{an}\hat{\alpha}_2}, \dots, \kappa_{\text{an}\hat{\alpha}_k}, \dots$

Аутентификация объекта доступа осуществляется в блоке аутентификации объектов доступа (БАОД) по информации, хранящейся в базе данных.

Предложена математическая модель процесса контроля и управления доступом, основанная на моделях Юсупова Р.М., Дмитриева А.К. и Максвелла Д.К., отличающаяся множеством состояний точек доступа, операторами переходов и использующая кадры-вставки для формирования мультимедийного потока видеоданных.

Определена стратегия развития СКУД на основе технологии формирования и обработки мультимедийного потока, позволяющая автоматизировать процесс визуальной идентификации СД оператором и обеспечивающая значительное увеличение количества наблюдаемых ТД при выполнении требований достоверности принятия решения и ограничении пропускной способности сети передачи данных и, следовательно, повышение качества функционирования СКУД на предприятиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворона В.А., Тихонов В.А. Системы контроля и управления доступом. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 272 с.
2. ГОСТ Р 51241-2008. Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2009. – 28 с.
3. Юсупов Р.М. Элементы теории испытаний и контроля технических систем. – Л.: Энергия, 1978. – 220 с.
4. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных технических систем. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1988. – 192 с.
5. Лысанов И.Ю., Орешин А.Н., Романов Н.В. Разработка стратегии определения видеовставок в мультимедийном потоке информации процесса мониторинга функционирования станков с дистанционным числовым программным управлением // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2013. – № 4. – 37 с.
6. Гонсалес Р., Вудс Р. Мир цифровой обработки. Цифровая обработка изображений; перевод с англ. под ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
7. Визильтер Ю. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision / Ю. Визильтер, С. Желтов, В. Князь, А. Ходарев, А. Моржин. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 464 с.

**Иван Юрьевич Лысанов**  
Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник  
E-mail: IvanLisanov@Mail.ru  
Тел: (920) 283-83-42

I.Yu. LY'SANOV (*Employee*)

**MATHEMATICAL MODEL OF ACCESS CONTROL AND MANAGEMENT  
USING THE TECHNOLOGY GENERATION AND PROCESSING MULTIMEDIA VIDEO STREAMS**

*In article submitted mathematical model of the process of access control technology with the generation and processing of multimedia video stream. The distinguishing feature of this model is the set of states access points and the transition between the operators and use insert-frame for the multimedia video data stream and its subsequent processing.*

**Keywords:** *mathematical model; control and access management; multimedia video stream.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Vorona V.A., Tixonov V.A. Sistemy' kontrolya i upravleniya dostupom. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2010. – 272 s.
2. GOST R 51241-2008. Sredstva i sistemy' kontrolya i upravleniya dostupom. Klassifikaciya. Obshhie texnicheskie trebovaniya. Metody' ispy'tanij. – M.: Standartinform, 2009. – 28 s.
3. Yusupov R.M. E'lementy' teorii ispy'tanij i kontrolya texnicheskix sistem. – L.: E'nergiya, 1978. – 220 s.
4. Dmitriev A.K., Mal'cev P.A. Osnovy' teorii postroeniya i kontrolya slozhny'x texnicheskix sistem. – L.: E'nergoatomizdat. Leningradskoe otdelenie, 1988. – 192 s.
5. Ly'sanov I.Yu., Oreshin A.N., Romanov N.V. Razrabotka strategii opredeleniya videovstavok v mul'timedijnom potoke informacii processa monitoringa funkcionirovaniya stankov s distancionny'm chislovy'm programmny'm upravleniem // Fundamental'ny'e i prikladny'e problemy' texniki i texnologii, 2013. – № 4 . – 37 s.
6. Gonsales R., Vuds R. Mir cifrovoj obrabotki. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij; perevod s angl. pod red. P.A. Chochia. – M.: Texnosfera, 2006. – 1072 s.
7. Vizil'ter Yu. i dr. Obrabotka i analiz cifrov'x izobrazhenij s primerami na LabVIEW i IMAQ Vision / Yu. Vizil'ter, S. Zheltov, V. Knyaz', A. Xodarev, A. Morzhin. – M.: DMK-Press, 2008. – 464 s.

УДК 004.75

Н.А. МЕЛКОЗЕРОВ, С.Л. ГОЛЬДШТЕЙН, О.А. ВСЕГНЕЕВ

## ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

*В работе рассмотрены современные программные средства (ПС) для решения задачи одновременной навигации и построения карты (ОНПК) применительно к автономным беспилотным аппаратам, в том числе летательным (БПЛА). Выделены особенности решения данной задачи с применением облачных вычислений. Описаны преимущества и недостатки существующих программных средств, составлен компилятивный прототип, предложены его системно-структурная модель и гипотезы о развитии.*

**Ключевые слова:** *одновременная навигация и составление карты; облачная робототехника; облачные вычисления; распределенные вычисления.*

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема определения местоположения и составления карты окружающего пространства играет особую роль в современной робототехнике. Любая задача, связанная с перемещением робота в какой-либо среде, требует наличия ее детализированной карты. Это особенно актуально при управлении беспилотными аппаратами, так как это позволяет избегать столкновений с элементами окружающего пространства.

Для решения этой задачи применяется метод одновременной навигации и построения карты (ОНПК), который представляет собой вычислительную задачу построения или обновления карты неизвестного окружения с одновременным определением местоположения робота на ней [1]. Исторически данная задача появилась еще в 80-х годах прошлого века, когда ее пытались решать различными способами [2-4]. В настоящее время весьма актуален вопрос о реализации системы ОНПК с помощью облачных вычислений [20]. Применение такого подхода позволяет увеличить размер составляемых карт, так как вычислительные ресурсы облака значительно превосходят возможности бортовых систем робота. Помимо этого, метод ОНПК на базе облачных вычислений упрощает реализацию системы коллективного построения карты несколькими роботами [21], что может значительно увеличить скорость построения.

На сегодняшний день существует множество различных программных платформ и отдельных библиотек для ОНПК. Однако при рассмотрении возможности применения данных средств к БПЛА можно заметить, что все они решают поставленную задачу с различной эффективностью. В данной статье поставлена и решена задача составления литературно-аналитического обзора по теме с выходом на пакет научных прототипов ПО для одновременной локализации и составления карты, их критику и гипотез о предлагаемом решении.

### ЛИТЕРАТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ДЛЯ ОНПК

В обзоре представлены программные платформы для решения задачи ОНПК. В результате анализа существующих средств выявлено шесть самых значимых в данной области аналогов. Рассмотрим особенности каждой из платформ:

– платформа DAVINCI [5] использует облачные вычисления на основе Hadoop [11] в целях масштабирования и распараллеливания ОНПК. Продукт полностью совместим с ROS [16];

– C2TAM [6] использует модифицированный алгоритм PTAM [12] (parallel tracking and mapping) разбиения задачи ОНПК на несколько параллельных процессов для ускорения работы, производит вычисления в облаке и совместим с ROS;

- CAS [7] Robot Navigation Toolbox – это библиотека, предназначенная для решения задачи ОНПК посредством пакета MATLAB [13], работает только с двухмерным пространством;
- COP-SLAM [8] позиционируется как высокоэффективное решение для ОНПК, не поддерживает работу в облаке и не совместим с ROS;
- EKFmonocularSLAM [9] как библиотека представляет собой решение для пакета MATLAB, способное производить монокулярный 3-D ОНПК;
- RGBDSLAM [10] дает решение для быстрого построения трехмерных моделей окружения при помощи сенсора Kinect [14], работает при помощи ROS.

Для того, чтобы оценить различные программные платформы и библиотеки, реализующие ОНПК применительно к БПЛА, следует ввести критерии оценки.

### АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ

В работе [15] представлен набор критериев, общий для всех практических применений ОНПК-методов. Основываясь на нем, рассмотрим критерии  $(E_i, i = 1 \dots n)$ , отражающие специфику работы программного обеспечения ОНПК на летательных аппаратах, и их вес  $(P_i, i[0 \div 1])$ , где 1 означает абсолютную необходимость соответствия данному критерию, а 0 – то, что несоответствие критерию не повлияет на работу аппарата):

1. Время отклика –  $E_1$ . Так как БПЛА должен работать в режиме реального времени,  $P_1 = 1$ ;

2. Вычислительная нагрузка на компьютер БПЛА –  $E_2$ . Т.к. БПЛА характеризуется относительно небольшим временем работы, вычислительная нагрузка должна быть как можно меньше, что даст возможность использовать более легкие и менее энергоемкие вычислительные системы. Поскольку данный критерий весьма важен для длительной работы летательного аппарата,  $P_2 = 0.6$ ;

3. Требования к аппаратному обеспечению –  $E_3$ . Массивные или высокоэлектропотребляющие устройства менее предпочтительны, т.к. уменьшают время полета,  $P_3 = 0.4$ .

4. Возможность переноса вычислений с летательного аппарата на другой вычислительный узел –  $E_4$ . Позволяет снизить энергопотребление и увеличить время работы БПЛА. Также в данном критерии подразумевается возможность использования облака. Он не критичен для работы, однако возможность использования облака позволит составлять карту больших областей и, следовательно, ему стоит уделить большое внимание,  $P_4 = 0.7$ .

5. Возможность кооперативной работы –  $E_5$ . Позволяет нескольким роботам, функционируя одновременно, ускорить процесс составления карты и, что весьма важно, для построения карт в больших пространствах,  $P_5 = 0.8$ .

6. Совместимость с ROS –  $E_6$ . Robotic Operating System в настоящее время – это наиболее широко используемый фреймворк для разработки программного обеспечения роботов. Совместимость с ним желательна по причине возможности повторного использования различных компонентов. Данный критерий не обязателен, однако соответствие ему позволит уменьшить количество работы, требуемое для интеграции в существующие системы,  $P_6 = 0.6$ .

Значения для каждого критерия задает группа экспертов по компьютерному зрению и робототехнике в интервале от 0 до 1.

### ОЦЕНКА АНАЛОГОВ В СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЯМИ

Для получения итоговых оценок (S) использована следующая формула:

$$S = \sum_{i=0}^n E_i * P_i.$$

Результаты представлены в таблице 1.

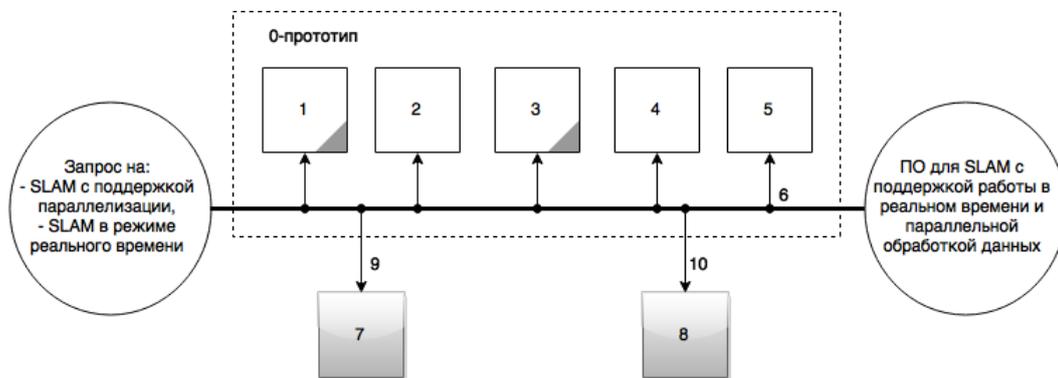
Таблица 1 – Результаты оценки аналогов

Аналоги		$E_i/P_i$						S
i	Название	$E_1/1.0$	$E_2/0.6$	$E_3/0.4$	$E_4/0.7$	$E_5/0.8$	$E_6/0.6$	
1.	DAvinCI	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.60
2.	C2TAM	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	3.96
3.	CAS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.	COP-SLAM	1.0	0.7	1.0	0.0	0.0	0.8	2.30
5.	EKFmonocularSLAM	1.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	1.70
6.	RGBDSLAM	1.0	0.8	1.0	0.5	0.0	1.0	2.83

Видно, что среди всех решений наибольший балл набирают C2TAM и DAvinCI, взятые за основу при составлении пакета научных прототипов.

### ПАКЕТ НАУЧНЫХ ПРОТОТИПОВ

Исходя из полученных данных, в качестве прототипа возможно использовать компиляцию аналогов 1 и 2. На этой основе предложена (рис. 1) системно-структурная модель ПО для системы ОНПК и его предпочтительное развитие за счет введения двух новых подсистем 7 и 8 с модернизацией двух существующих (1 и 3).



*Рисунок 1 – Системно-структурная модель ПО для системы ОНПК по компилятивному прототипу [5,6] и предлагаемому решению, отмеченному серым фоном и уголками (подсистемы: 1 – составления карты, 2 – отслеживания местоположения камеры, 3 – релокации, 4 – распознавания местоположения, 5 – слияния карт, 7 – параллельной релокации в облаке, 8 – параллельного составления карты в облаке, 6, 9, 10 – интерфейсов)*

В этом случае возможен выход на пакет прототипов (табл. 2).

Гипотезы о развитии прототипов:

1. Развитие существующих фреймворков для ОНПК возможно за счет введения двух новых подсистем и развития двух имеющихся.

2. Доработка подсистемы 1 возможно за счет переноса модуля расчета карты в предлагаемую подсистему 8.

3. Модернизация подсистемы 3 возможна за счет оптимизации расчета местоположения БПЛА через использование облачных ресурсов подсистемы 7.

4. В составе подсистем 7 и 8 основное внимание стоит уделить замене системы обработки данных Hadoop [11] на систему Spark [19] для интерактивной обработки данных.

5. Для соединения данных систем между собой необходимо программное обеспечение, позволяющее совместить интерфейсы 6, 9, 10.

Таблица 2 – Пакет научных прототипов

Ранг прототипа	Название прототипа	Источник информации	Критика
0	ПО для системы ОНПК	[5, 6]	Системно-структурная неполнота: нет механизма распараллеливания всех компонент, выполняющихся в облаке; отсутствует возможность работы в режиме реального времени.
1	Подсистема 1 составления карты	[17]	Функционально-параметрическая неполнота: нет механизма параллельного составления карты в облаке с учетом работы в режиме реального времени.
	Подсистема 3 релокации	[18]	Функционально-параметрическая неполнота: нет механизма параллельной релокации в облаке
	Подсистема 7 параллельной релокации в облаке	[12]	Функционально-параметрическая неполнота: несовместимость с существующей системой
	Подсистема 8 параллельного составления карты в облаке	[12]	Функционально-параметрическая неполнота: несовместимость с существующей системой

### ВЫВОДЫ

В данной работе были рассмотрены современные программные средства для имплементации ОНПК-методов. Среди них выявлены два решения, наиболее подходящие для использования на беспилотных летательных аппаратах.

Первое решение представляет собой программный продукт, предназначенный для решения задачи ОНПК при помощи облачных вычислений, однако позволяет производить только пакетную обработку данных, что не удовлетворяет требованиям к работе в режиме реального времени.

Второе решение имеет функциональность для решения задачи ОНПК в режиме реального времени, однако не обладает возможностями по масштабированию в облачном окружении.

Ввиду функционально-параметрической неполноты данных решений их эффективное применение на БПЛА остается под вопросом. В качестве решения данной проблемы предлагается развить имеющиеся прототипы посредством введения двух новых подсистем, предназначенных для использования облачных вычислений применительно к ОНПК-методу. Данная модификация позволит обойти существующие недостатки, содержащиеся в отобранных решениях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I // Robotics & Automation Magazine, IEEE, 2006. – Volume 13. – Issue 2. – P. 99-110 [Electronic resource]. – URL: <http://everobotics.org/pdf/SLAMTutorial.pdf> (date of access: 21.04.2015).

2. Ayache N., Faugeras O. Building, registering and fusing noisy visual maps [Electronic resource] // The International Journal of Robotics Research. — 1988. — Volume 7, Issue 6. — P. 45-65 [Electronic resource]. — URL: <https://hal.inria.fr/inria-00615532/document> (date of access: 21.04.2015).
3. Chatila R., Laumond J. Position referencing and consistent world modeling for mobile robots // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985. — Volume 2. — P. 138-145 [Electronic resource]. — URL: <ftp://ftp.laas.fr/pub/ria/raja/icra85.pdf> (date of access: 21.04.2015).
4. Crowley J.L. World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging [Electronic resource] // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1989. — Volume 2. — P. 674-680 [Electronic resource]. — URL: <http://www.prima.imag.fr/Prima/jlc/papers/ICRA89-LocalModel.pdf> (date of access: 21.04.2015).
5. Arumugam R. DAVinCi: A cloud computing framework for service robots [Electronic resource] / R. Arumugam, V.R. Enti, Liu Bingbing, Wu Xiaojun, K. Baskaran, Foong Foo Kong, A.S. Kumar, Kang Dee Meng, Goh Wai Kit. // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010. — P. 3084-3089 [Electronic resource]. — URL: [http://vikasreddyenti.com/wp/wp-content/uploads/2010/06/DAvinCi-CloudComputingRobots\\_final.pdf](http://vikasreddyenti.com/wp/wp-content/uploads/2010/06/DAvinCi-CloudComputingRobots_final.pdf) (date of access: 21.04.2015).
6. Riazuelo L. C2TAM: A Cloud framework for cooperative tracking and mapping [Electronic resource] / L. Riazuelo, Javier Civera, J.M.M. Montiel // Robotics and Autonomous Systems, 2014. — Volume 62. — Issue 4. — P. 401-413. [Electronic resource]. — URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013002248> (date of access: 21.04.2015).
7. CAS Robot Navigation Toolbox [Electronic resource]. — URL: <http://www.openslam.org/cas-rnt.html>
8. Dubbelman G., Browning B. Closed-form Online Pose-chain SLAM [Electronic resource] // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2014 [Electronic resource]. — URL: [http://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2013/5/ICRA13\\_0901\\_FI.pdf](http://www.ri.cmu.edu/pub_files/2013/5/ICRA13_0901_FI.pdf) (date of access: 21.04.2015).
9. Civera J. Point RANSAC for extended Kalman filtering: Application to real-time structure from motion and visual odometry / J. Civera, O. G. Grasa, A. J. Davison, J. M. M. Montiel. // Journal of Field Robotics - Visual Mapping and Navigation Outdoors archive, 2010. — Volume 27. — Issue 5. — P. 609-631 [Electronic resource]. — URL: [http://webdiis.unizar.es/~jcivera/papers/civera\\_etal\\_jfr10.pdf](http://webdiis.unizar.es/~jcivera/papers/civera_etal_jfr10.pdf) (date of access: 21.04.2015).
10. Rgbdslam [Electronic resource]. — URL: <http://wiki.ros.org/rgbdslam>
11. Apache Hadoop [Electronic resource]. — URL: <http://hadoop.apache.org/>
12. Klein G., Murray D. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces [Electronic resource] // IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. — P. 1-10. [Electronic resource]. — URL: <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/publications/KleinMurray2007ISMAR.pdf> (date of access: 21.04.2015).
13. Matlab [Electronic resource]. — URL: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
14. Kinect [Electronic resource]. — URL: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
15. Ouellette R., Hirasawa K. A comparison of SLAM implementations for indoor mobile robots [Electronic resource] // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007. — P. 1479-1484 [Electronic resource]. — URL: [ftp://164.41.49.96/Usuarios/Claudia/MESTRADO/MESTRADO\\_DISCIPLINAS/Lo%20demas/Papers/Trabalhos%20com%20Nomad/SLAM/Comparison\\_SLAM\\_Impreso.pdf](ftp://164.41.49.96/Usuarios/Claudia/MESTRADO/MESTRADO_DISCIPLINAS/Lo%20demas/Papers/Trabalhos%20com%20Nomad/SLAM/Comparison_SLAM_Impreso.pdf) (date of access: 21.04.2015).
16. Robot Operating System [Electronic resource]. — URL: <http://www.ros.org/>
17. Estrada C.. Hierarchical SLAM: Real-Time Accurate Mapping of Large Environments / C. Estrada, J. Neira, J.D. Tardos // IEEE Transactions on Robotics, 2005. — Volume 21. — Issue 4. — P. 588-596 [Electronic resource]. — URL: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1492475&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D1492475](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1492475&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1492475) (date of access: 21.04.2015).

18. Neira J. Linear time vehicle relocation in SLAM / J. Neira, J.D. Tardos, J.A. Castellanos // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003. – Volume 1. – P. 427-433. [Electronic resource]. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.206.1089&rep=rep1&type=pdf> (date of access: 21.04.2015).
19. Apache Spark [Electronic resource]. – URL: <https://spark.apache.org/>
20. Guoqiang H. Cloud robotics: architecture, challenges and applications / Wee Peng Tay; Yonggang Wen // IEEE Network, 2012. – Volume 26. – Issue 3. – P. 21-23 [Electronic resource]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6201212> (date of access: 21.04.2015).
21. A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation. Ben Kehoe, Sachin Patil, Pieter Abbeel, Ken Goldberg. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE): Special Issue on Cloud Robotics and Automation. – Vol. 12. – № 2. – Apr. 2015.
22. Parallel, real-time visual SLAM. Intelligent Robots and Systems (IROS) 2010. – P. 3961-3968.

**Мелкозеров Никита Алексеевич**

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург  
Аспирант кафедры «Вычислительная техника»  
Тел.: 8 982 663 86 72  
E-mail: n.melkozerov@gmail.com

**Гольдштейн Сергей Львович**

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника»  
Тел.: 8 (343) 375-41-5  
E-mail: s.l.goldshtein@urfu.ru

**Евсегнеев Олег Анатольевич**

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург  
Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Вычислительная техника»  
Тел.: 8 (343) 375-41-5  
E-mail: oleg.evsegneev@gmail.com

---

N.A. MELKOZEROV (*Post-graduate Student of the Department «Computer Engineering»*)

S.L. GOL'DShTEJN (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Head of the Department «Computer Engineering»*)

O.A. EVSEGNEEV (*Candidate of Physico-mathematical Sciences, Associate Professor*)  
*Ural Federal University, Ekaterinburg*

**SURVEY OF SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING SOFTWARE FOR UNMANNED VEHICLES**

*This paper considers modern software tools for solving simultaneous localization and mapping problem with respect to the field of unmanned vehicles. In addition, it considers solving this problem with the use of cloud computing. Finally, it explains advantages and disadvantages of existing software and propose a research prototype along with hypothesis about further development.*

**Keywords:** *simultaneous localization and mapping; cloud robotics; cloud computing; distributed computing.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Durrant-Whyte H., Bailey T. Simultaneous localization and mapping: part I // Robotics & Automation Magazine, IEEE, 2006. – Volume 13. – Issue 2. – P. 99-110 [Electronic resource]. – URL: <http://everobotics.org/pdf/SLAMTutorial.pdf> (date of access: 21.04.2015).

2. Ayache N., Faugeras O. Building, registering and fusing noisy visual maps [Electronic resource] // The International Journal of Robotics Research. — 1988. — Volume 7, Issue 6. — P. 45-65 [Electronic resource]. — URL: <https://hal.inria.fr/inria-00615532/document> (date of access: 21.04.2015).
3. Chatila R., Laumond J. Position referencing and consistent world modeling for mobile robots // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985. — Volume 2. — P. 138-145 [Electronic resource]. — URL: <ftp://ftp.laas.fr/pub/ria/raja/icra85.pdf> (date of access: 21.04.2015).
4. Crowley J.L. World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging [Electronic resource] // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1989. — Volume 2. — P. 674-680 [Electronic resource]. — URL: <http://www-prima.imag.fr/Prima/jlc/papers/ICRA89-LocalModel.pdf> (date of access: 21.04.2015).
5. Arumugam R. DAVinCi: A cloud computing framework for service robots [Electronic resource] / R. Arumugam, V.R. Enti, Liu Bingbing, Wu Xiaojun, K. Baskaran, Foong Foo Kong, A.S. Kumar, Kang Dee Meng, Goh Wai Kit. // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010. — P. 3084-3089 [Electronic resource]. — URL: [http://vikasreddyenti.com/wp/wp-content/uploads/2010/06/DAVinCi-CloudComputingRobots\\_final.pdf](http://vikasreddyenti.com/wp/wp-content/uploads/2010/06/DAVinCi-CloudComputingRobots_final.pdf) (date of access: 21.04.2015).
6. Riazuelo L. C2TAM: A Cloud framework for cooperative tracking and mapping [Electronic resource] / L. Riazuelo, Javier Civera, J.M.M. Montiel // Robotics and Autonomous Systems, 2014. — Volume 62. — Issue 4. — P. 401-413. [Electronic resource]. — URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013002248> (date of access: 21.04.2015).
7. CAS Robot Navigation Toolbox [Electronic resource]. — URL: <http://www.openslam.org/cas-rnt.html>
8. Dubbelman G., Browning B. Closed-form Online Pose-chain SLAM [Electronic resource] // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2014 [Electronic resource]. — URL: [http://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2013/5/ICRA13\\_0901\\_FI.pdf](http://www.ri.cmu.edu/pub_files/2013/5/ICRA13_0901_FI.pdf) (date of access: 21.04.2015).
9. Civera J. Point RANSAC for extended Kalman filtering: Application to real-time structure from motion and visual odometry / J. Civera, O. G. Grasa, A. J. Davison, J. M. M. Montiel. // Journal of Field Robotics - Visual Mapping and Navigation Outdoors archive, 2010. — Volume 27. — Issue 5. — P. 609-631 [Electronic resource]. — URL: [http://webdiis.unizar.es/~jcivera/papers/civera\\_et\\_al\\_jfr10.pdf](http://webdiis.unizar.es/~jcivera/papers/civera_et_al_jfr10.pdf) (date of access: 21.04.2015).
10. Rgbdslam [Electronic resource]. — URL: <http://wiki.ros.org/rgbdslam>
11. Apache Hadoop [Electronic resource]. — URL: <http://hadoop.apache.org/>
12. Klein G., Murray D. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces [Electronic resource] // IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2007. — P. 1-10. [Electronic resource]. — URL: <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/publications/KleinMurray2007ISMAR.pdf> (date of access: 21.04.2015).
13. Matlab [Electronic resource]. — URL: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
14. Kinect [Electronic resource]. — URL: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>
15. Ouellette R., Hirasawa K. A comparison of SLAM implementations for indoor mobile robots [Electronic resource] // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007. — P. 1479-1484 [Electronic resource]. — URL: [ftp://164.41.49.96/Usuarios/Claudia/MESTRADO/MESTRADO\\_DISCIPLINAS/Lo%20demas/Papers/T rabalhos%20com%20Nomad/SLAM/Comparison\\_SLAM\\_Impreso.pdf](ftp://164.41.49.96/Usuarios/Claudia/MESTRADO/MESTRADO_DISCIPLINAS/Lo%20demas/Papers/T rabalhos%20com%20Nomad/SLAM/Comparison_SLAM_Impreso.pdf) (date of access: 21.04.2015).
16. Robot Operating System [Electronic resource]. — URL: <http://www.ros.org/>
17. Estrada C.. Hierarchical SLAM: Real-Time Accurate Mapping of Large Environments / C. Estrada, J. Neira, J.D. Tardos // IEEE Transactions on Robotics, 2005. — Volume 21. — Issue 4. — P. 588 -596 [Electronic resource]. — URL: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1492475&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D1492475](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1492475&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D1492475) (date of access: 21.04.2015).
18. Neira J. Linear time vehicle relocation in SLAM / J. Neira, J.D. Tardos, J.A. Castellanos // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003. — Volume 1. — P. 427-433. [Electronic resource]. — URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.206.1089&rep=rep1&type=pdf> (date of access: 21.04.2015).
19. Apache Spark [Electronic resource]. — URL: <https://spark.apache.org/>
20. Guoqiang H. Cloud robotics: architecture, challenges and applications / Wee Peng Tay; Yonggang Wen // IEEE Network, 2012. — Volume 26. — Issue 3. — P. 21-23 [Electronic resource]. — URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6201212> (date of access: 21.04.2015).
21. A Survey of Research on Cloud Robotics and Automation. Ben Kehoe, Sachin Patil, Pieter Abbeel, Ken Goldberg. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE): Special Issue on Cloud Robotics and Automation. — Vol. 12. — № 2. — Apr. 2015.
22. Parallel, real-time visual SLAM. Intelligent Robots and Systems (IROS) 2010. — P. 3961-3968.

УДК 004.738.5.057

В.А. ЛИПАТНИКОВ, А.А. ШЕВЧЕНКО

**СПОСОБ КОНТРОЛЯ УЯЗВИМОСТЕЙ  
ПРИ МАСШТАБИРОВАНИИ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ  
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ**

*В статье изложен способ контроля уязвимостей при масштабировании автоматизированной системы менеджмента предприятия интегрированной структуры, разработанный на основе выявления, анализа и расчета количественной оценки уязвимости. Данный способ учитывает параметры процесса функционирования АСМ предприятия интегрированной структуры и процесса атаки злоумышленника. Он позволит уменьшить время на выявление атаки и время принятия решения на локализацию атаки, а также принять меры по совершенствованию СЗИ АСМ, тем самым повысив общий показатель защищенности АСМ предприятия интегрированной структуры.*

***Ключевые слова:** информационно-вычислительная сеть; несанкционированные воздействия; защита информации; количественная оценка уязвимости; марковский случайный процесс; АСМ; СИ; НСВ; ИВС; КА; масштабирование ИВС; показатель защищенности.*

**СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Системы управления играют важную роль в современных технологических системах. Проектирование и создание автоматизированной системы менеджмента (АСМ) предприятия интегрированной структуры (ИС) способствует принятию процессного подхода при разработке, внедрении и улучшении результативности систем менеджмента качества (СМК) для повышения удовлетворенности потребителей посредством выполнения их требований [1-3, 7].

Нарушение стабильной работы информационно-вычислительных сетей (ИВС) СМК большинства промышленных организаций интегрированной структуры вследствие несанкционированного воздействия (НСВ) на обрабатываемую в них информацию влечет за собой значительный ущерб.

При функционировании ИВС АСМ возникают ситуации, когда необходимо динамически изменять структуру сети в зависимости от поставленных задач. В ходе функционирования перед ИВС могут возникать задачи, для решения которых у ИВС будет недостаточно вычислительных ресурсов или для решения поставленных задач будет необходим оперативный информационный обмен с территориально удаленными ресурсами. При масштабировании возникает вопрос обеспечения требуемого уровня безопасности ресурсов ИВС. Доступ к сегментам сети, удаленный доступ и доступ в ЕСЭ при этом будет использоваться довольно широко. Но это порождает определенный риск и ставит целый ряд вопросов безопасности ресурсов масштабируемой ИВС [3].

При функционировании ИВС происходит обнаружение НСВ и их нейтрализация средствами системы защиты информации (СЗИ), которая внедрена в ИВС до начала ее работы. Масштабирование ИВС, изменение конфигурации ИВС, обновление программно-аппаратной базы ИВС, замена линий связи и другие изменения характеристик ИВС влекут за собой появление новых уязвимостей, которые нужно своевременно и оперативно выявлять, анализировать и предупреждать для совершенствования СЗИ ИВС, чтобы обеспечить достаточный уровень защиты информации ИВС АСМ.

**АНАЛИЗ ИВС ПРЕДПРИЯТИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ**

Известен способ защиты от компьютерных атак (КА), который позволит обеспечить достаточный уровень защиты информации ИВС, реализованный в патенте РФ [8]. Данный

способ заключается в том, что обнаружение КА на ИВС определяется за счет выявленной информации о подготовке КА путем использования трассировки маршрутов передачи пакетов по определенным доверительным маршрутам. Недостатком этого способа является то, что выбор доверительного маршрута происходит после получения первого пакета от источника в место назначения, а, следовательно, какая-либо КА уже может быть реализована, то есть не происходит выявления, анализа и оценки уязвимости ИВС до использования маршрута передачи пакетов в ИВС. Также не учитывается появление новых маршрутов вследствие масштабирования ИВС и других изменений сети. Организация должна проводить анализ изменений в создании продукции и предоставлении услуг и управлять ими в том объеме, который необходим для сохранения постоянного соответствия требованиям (п.8.5.6. ISO 9001:2015).

Поэтому обеспечение достаточного уровня защиты информации от НСВ для нормального функционирования ИВС при ее масштабировании и других изменениях обуславливает необходимость разработки способа защиты информации от НСВ ИВС с выявлением, анализом уязвимостей. Также необходимо учитывать количественную оценку уязвимости ИВС при принятии решения на устранение уязвимости.

Целью работы является повышение информационной безопасности ИВС АСМ при ее масштабировании и других изменениях за счет достоверной и оперативной оценки уязвимости. Для достижения цели необходимо разработать способ защиты информации от НСВ ИВС при масштабировании АСМ и других изменениях, обеспечивающий оперативные оценку и анализ выявленных уязвимостей. Должны учитываться параметры процесса функционирования ИВС и процесса КА. Также должно обеспечиваться уменьшение времени на выявление КА и время принятия решения на локализацию уязвимости для повышения эффективности работы ИВС.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Действия по выявлению уязвимостей, реагированию на риски и возможности (п. 6.1 ISO 9001:2015). Действия, касающиеся рисков и возможностей, могут включать в себя: избегание риска уязвимостей АСМ, использование риска в целях реализации возможности, устранение источника риска, изменение вероятности или последствий, передача риска или удержание риска на основе осознанного решения (рис. 1).

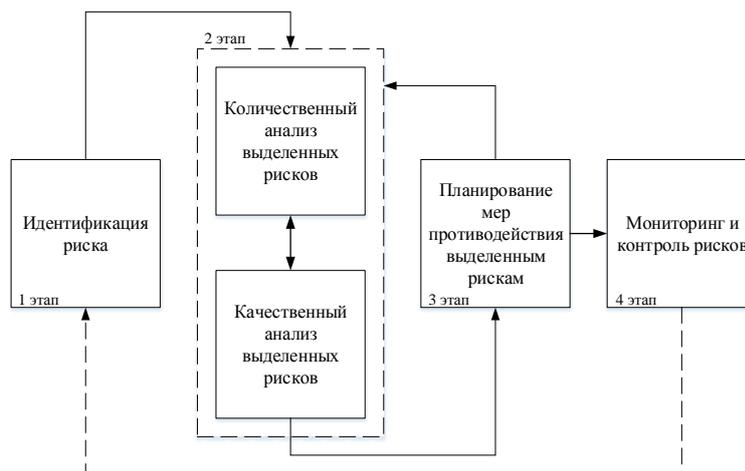


Рисунок 1 – Этапы действий, касающиеся рисков

Для решения поставленной задачи необходимо разработать способ защиты информации от НСВ ИВС АСМ, который реализуется алгоритмом защиты информации от НСВ в ИВС с учетом результатов количественной оценки уязвимости. Он должен быть разработан с учетом требований [3, 5].

Обеспечение должного уровня информационной безопасности (ИБ) – важная часть работы лиц, обеспечивающих защиту информации ИВС. В общем случае ИБ – это принятие

конкретных решений и мер для обеспечения конфиденциальности, доступности и целостности информации, обрабатываемой в той или иной ИВС. Для того, чтобы принимать решения и меры, необходимо знать уровень ИБ ИВС, поэтому вводим обобщенный показатель ИБ  $P_{ИБ}$ , который рассчитывается из частных показателей:

$$P_{ИБ} = f(W, P_{д.н.}, P_{м.з.}), \quad (1)$$

где  $W$  – показатель оценки уязвимости объекта;  $P_{д.н.}$  – вероятность действий нарушителя;  $P_{м.з.}$  – вероятность принятых мер защиты.

Вместе с тем вводим показатель исправной работы ИВС  $P_{ИВС}$ :

$$P_{ИВС} = \frac{\bar{t}_{испр}}{\bar{t}_{испр} + \bar{t}_{пр}}, \quad (2)$$

где  $\bar{t}_{испр}$  – время исправного функционирования ИВС;  $\bar{t}_{пр}$  – время простоя ИВС в связи с НСВ на нее.

В свою очередь  $\bar{t}_{пр} = \bar{t}_{выяв.у.} + \bar{t}_{устру.}$ , поэтому для повышения показателя исправной работы ИВС  $P_{ИВС}$  необходимо уменьшить  $\bar{t}_{выяв.у.}$  и  $\bar{t}_{устру.}$ .

В [3, 4] показано, что в условиях интенсивных воздействий со стороны потенциальных нарушителей на ИВС систему защиты информации (СЗИ) следует рассматривать на всех стадиях процесса атаки. В модели нарушителя установлено 3 стадии процесса атаки, такие, как «Разведка», «Принятие решения об атаке» и «Реализация атаки». На рисунке 2 показано взаимодействие нарушителя (процесс атаки) и ИВС (процесс функционирования ИВС).

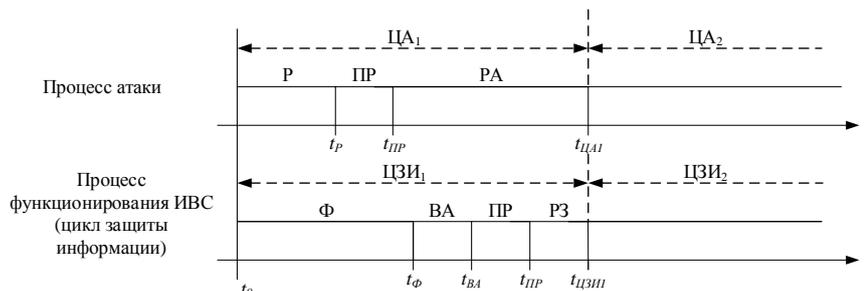


Рисунок 2 – Диаграмма взаимодействия процессов защиты информации в ИВС и процесса атаки злоумышленника

На рисунке 2  $ЦА_n$  ( $t_{ЦАn}$ ) – процесс атаки (время процесса атаки), состоящий из Р ( $t_P$ ) – предварительного сканирования и разведки (времени разведки); ПР ( $t_{ПР}$ ) – принятие решения (время принятия решения на атаку злоумышленником); РА ( $t_{РА}$ ) – реализация атаки (время реализации атаки злоумышленником); ЦЗИ<sub>n</sub> ( $t_{ЦЗИn}$ ) – процесс защиты информации (время процесса защиты информации), состоящий из Ф ( $t_{Ф}$ ) – функционирования (времени функционирования ИВС); ВА ( $t_{ВА}$ ) – выявление атаки (время на выявление атаки); ПР ( $t_{ПР}$ ) – принятие решения (время принятия решения на локализацию атаки); РЗ ( $t_{РЗ}$ ) – реализация защиты (время реализации защиты).

Из рисунка 1 следует, что отсутствует процесс выявления и анализа уязвимости и показатель оценки уязвимости  $W$  зависит от времени на выявление атаки  $t_{ВА}$  и время принятия решения на локализацию атаки  $t_{ПР}$ . Из этого следует, что чем  $t_{ВА}$ ,  $t_{ПР} \rightarrow 0$ , тем  $W \rightarrow 0$ , а это значит, что ИВС СН менее уязвима.

Показатель вероятности действий нарушителя  $P_{д.н.}$  зависит от времени процесса атаки

$t_{ЦАn}$ , так как факт наличия атаки в большинстве случаев положителен, то  $t_{ЦАn} \rightarrow \infty$ , а  $P_{д.н.} \rightarrow 1$ . Показатель принятых мер защиты  $P_{м.з.}$  полностью зависит от времени реализации защиты  $t_{РЗ}$

и после атаки обязательно последуют контрмеры, то есть  $t_{РЗ} \rightarrow \infty$  и  $P_{м.з.} \rightarrow 1$ .

Принимая во внимание, что факт наличия атаки и факт того, что на атаку последуют контрмеры, положительны, то есть  $P_{д.н.}$ ,  $P_{м.з.} \rightarrow 1$ , следует, что  $P_{ИБ}$  полностью зависит от  $W$ , а

именно от  $t_{BA}$ ,  $t_{ПП}$ . Это позволяет сделать вывод, что обобщенный показатель ИБ ИВС СН обратно пропорционально зависит от уязвимости, это значит, что, чем ниже уязвимость ИВС СН, тем выше показатель.

Из (2) и рисунка 1 следует, что  $\bar{t}_{испр} = t_{\phi}$  и  $\bar{t}_{пр} = t_{BA} + t_{ПП} + t_{P3}$ . Более того, в идеальном

случае функционирования ИВС СН  $P_{ИВС} \rightarrow 1$ , для этого  $t_{BA}$ ,  $t_{ПП}$ ,  $t_{P3} \rightarrow 0$ . Это позволяет утверждать, что необходимо уменьшение времени на выявление атаки, времени принятия решения на локализацию атаки и времени реализации защиты.

Для оценки защищенности масштабируемых ИВС не разработаны методы и модели, учитывающие степень опасности известного поля угроз, базу известных уязвимостей корпоративных при существующих концепциях построения и условиях функционирования ИВС. Актуальность обеспечения безопасности ИВС обусловлена высокой динамикой поля угроз и темпами роста базы известных уязвимостей корпоративных сетей.

Уязвимость информационной системы – недостаток или слабое место в системном или прикладном программном (программно-аппаратном) обеспечении автоматизированной информационной системы, которые могут быть использованы для реализации угрозы безопасности информации [6, 9]. Причинами возникновения уязвимостей являются:

- ошибки при проектировании и разработке программного (программно-аппаратного) обеспечения;
- преднамеренные действия по внесению уязвимостей в ходе проектирования и разработки программного (программно-аппаратного) обеспечения;
- неправильные настройки программного обеспечения, неправомерное изменение режимов работы устройств и программ;
- несанкционированное внедрение и использование неучтенных программ с последующим необоснованным расходом ресурсов (загрузка процессора, захват оперативной памяти и памяти на внешних носителях);
- внедрение вредоносных программ, создающих уязвимости в программном и программно-аппаратном обеспечении;
- несанкционированные неумышленные действия пользователей, приводящие к возникновению уязвимостей;
- сбои в работе аппаратного и программного обеспечения (вызванные сбоями в электропитании, выходом из строя аппаратных элементов в результате старения и снижения надежности, внешними воздействиями электромагнитных полей технических устройств и др.).

Общая характеристика основных групп уязвимостей информационной системы, включает:

- уязвимости системного программного обеспечения (в том числе протоколов сетевого взаимодействия);
- уязвимости прикладного программного обеспечения (в том числе средств защиты информации).

Уязвимости системного программного обеспечения (ПО) необходимо рассматривать с привязкой к архитектуре построения вычислительных систем.

При этом возможны уязвимости:

- в микропрограммах, в прошивках ПЗУ, ППЗУ;
- в средствах операционной системы, предназначенных для управления локальными ресурсами информационной системы (обеспечивающих выполнение функций управления процессами, памятью, устройствами ввода/вывода, интерфейсом с пользователем и т.п.), драйверах, утилитах;
- в средствах операционной системы, предназначенных для выполнения вспомогательных функций, – утилитах (архивирования, дефрагментации и др.), системных

обрабатывающих программах (компиляторах, компоновщиках, отладчиках и т.п.), программах предоставления пользователю дополнительных услуг (специальных вариантах интерфейса, калькуляторах, играх и т.п.), библиотеках процедур различного назначения (библиотеках математических функций, функций ввода/вывода и т.д.);

– в средствах коммуникационного взаимодействия (сетевых средствах) операционной системы.

Контроль ИБ – это системный процесс получения объективных оценок текущего состояния ИБ организации в соответствии с определенными критериями ИБ, который включает комплексное обследование различных сред функционирования ИВС, проведения тестирования на уязвимости ИВС, анализ и оценку защищенности ИВС, формирование отчета и разработку соответствующих рекомендаций. Основной целью контроля ИБ ИВС является оценка текущего состояния ИБ предприятия, а также подготовка исходных данных для формирования требований к комплексной системе защиты информации (КСЗИ) ИВС [6, 9]. Место и структура алгоритм защиты информации от НСВ в ИВС представлены на рисунке 3.

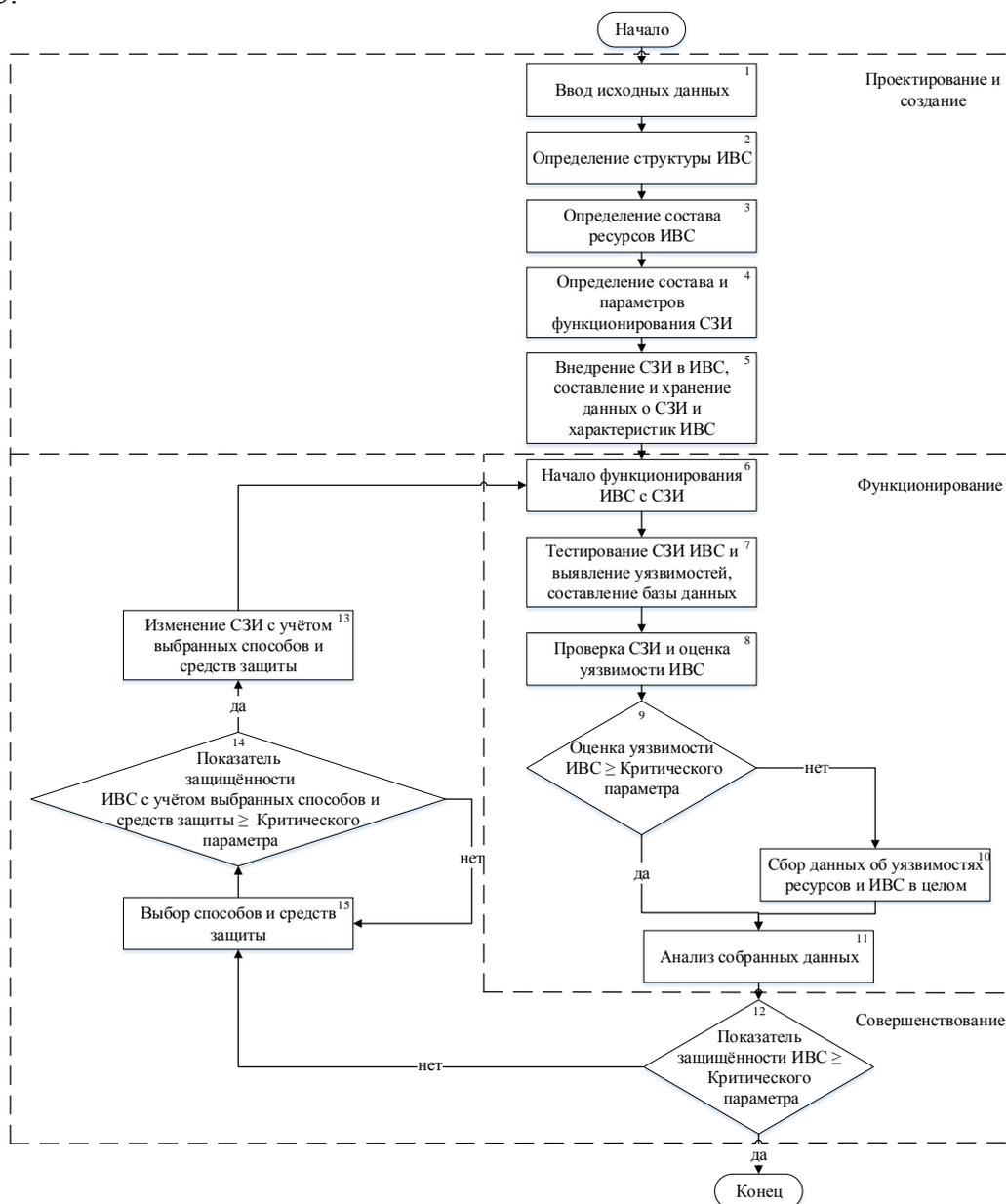


Рисунок 3 – Алгоритм защиты информации от НСВ в ИВС автоматизированной системы менеджмента предприятия

Предлагается для оперативного и своевременного выявления уязвимостей ИВС блок «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных», который входит в алгоритм защиты информации от НСВ ИВС на основе количественной оценки уязвимости. Схема работы блока показана на рисунке 4.



Рисунок 4 – Блок «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных»

Для наглядности эффективности работы блока «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных» целесообразно формализовать процесс функционирования ИВС адекватной математической моделью, отражающей наиболее характерные черты системы управления. В качестве одной из возможных моделей можно использовать представление ИВС как системы с переменной структурой, поведение которой на случайных интервалах времени характеризуется различными структурами и описывается вероятностными законами. При этом переход одной структуры в другую происходит в случайный момент времени в зависимости от значения фазовых координат системы. Задача анализа систем с переменной структурой, как правило, решается на основе теории марковских случайных процессов и, в частности, уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова аналогично [10, 11]. Для этого составлен граф состояний при тестировании, выявлении и нейтрализации выявленных уязвимостей ИВС в связи с масштабированием и другими изменениями (рис. 5).

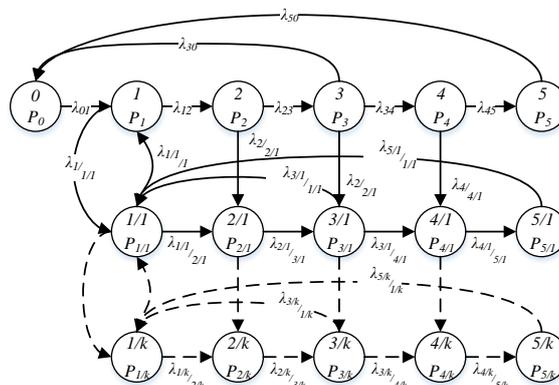


Рисунок 5 – Граф состояний при изменении ИВС и ее тестировании

Состояние «0» соответствует состоянию, когда ИВС введена в эксплуатацию с внедренной штатной СЗИ. Вероятность того, что ИВС находится в состоянии «0», обозначим через  $P_0$ .

Состояние «1» соответствует режиму, в который переходит ИВС при масштабировании и других изменениях. Вероятность того, что ИВС находится в состоянии «1», обозначим через  $P_1$ . Время пребывания системы в этом состоянии является случайной величиной. Состояние «1/ $k$ » соответствует режиму, когда ИВС терпит  $k$  изменений. Причем  $k=1, 2, \dots, m$ , где  $m$  – максимальное количество изменений ИВС.

Состояние «2» соответствует состоянию, в котором проводится подготовка к тестированию на выявление факта наличия уязвимостей в связи с масштабированием, происходит составление тестовых программ и маршрутов для выявления уязвимостей. Вероятность того, что ИВС находится в состоянии «2», обозначим через  $P_2$ . Состояние «2/ $k$ » соответствует состоянию «2», когда ИВС терпит  $k$  изменений ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

Состояние «3» соответствует состоянию ИВС, в котором производится тестирование ИВС. Происходит сбор данных о выявленных уязвимостях и ИВС переходит в состояние «4», если факт наличия уязвимостей не установлен, то ИВС переходит в состояние «0». Вероятность того, что ИВС находится в состоянии «3», обозначим через  $P_3$ . Состояние «3/ $k$ » соответствует состоянию «3», когда ИВС терпит  $k$  изменений ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

Состояние «4» соответствует режиму, в который переходит ИВС после окончания тестирования ИВС и принятия решения о корректировке СЗИ ИВС. Вероятность того, что ИВС находится в состоянии «4», обозначим через  $P_4$ . Состояние «4/ $k$ » соответствует состоянию «4», когда ИВС терпит  $k$  изменений ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

Состояние «5» соответствует состоянию ИВС, в котором происходит внесение в СЗИ ИВС изменений для нейтрализации выявленных уязвимостей в связи с масштабированием и другими изменениями ИВС, после ИВС переходит в состояние «0». Вероятность того, что ИВС находится в состоянии «5», обозначим через  $P_5$ . Состояние «5/ $k$ » соответствует состоянию «5», когда ИВС терпит  $k$  изменений ( $k = 1, 2, \dots, m$ ).

Исходя из принятых исходных данных, для расчета вероятности нахождения ИВС в одном из состояний можно воспользоваться аппаратом марковских случайных процессов, то есть с помощью дифференциальных уравнений (3), в которых неизвестными функциями являются вероятности нахождения ИВС в различных состояниях  $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$ . В результате решения получим совокупность уравнений (5).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = \lambda_{30}P_3(t) + \lambda_{50}P_5(t) - \lambda_{01}P_0(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{01}P_0(t) - \lambda_{12}P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{23}P_2(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{30}P_3(t) - \lambda_{34}P_3(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{34}P_3(t) - \lambda_{45}P_4(t); \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_{45}P_4(t) - \lambda_{50}P_5(t), \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $\lambda_{ij}$  – интенсивность перехода из одного состояния ИВС в другое.

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{\bar{t}_{ij}}, \quad (4)$$

где  $\bar{t}_{ij}$  – среднее время перехода из одного состояния ИВС в другое.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}}; \\
 P_1 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}} \right]; \\
 P_2 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}} \right]; \\
 P_3 = \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}} \right]; \\
 P_4 = \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}} \right]; \\
 P_5 = \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}} \right].
 \end{array} \right. \quad (5)$$

Из (5) следует, что показатель защищенности ИВС при ее изменении  $P_{ИВ} = P_5$ , так как в этом состоянии ИВС нейтрализованы уязвимости, появившиеся после изменений, следовательно,  $P_{ИВ}$  рассчитывается по формуле (6).

$$P_{ИВ} = \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} \left[ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{12}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{23}} + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{30} + \lambda_{34}} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{45}(\lambda_{30} + \lambda_{34})} + \frac{\lambda_{01}\lambda_{34}}{\lambda_{50}(\lambda_{30} + \lambda_{34})}} \right] \quad (6)$$

Для расчета  $P_{ИВ}$  на конкретном примере, используем следующие показатели:

$\lambda_{01}$  – интенсивность изменений ИВС,  $\lambda_{01} = \frac{1}{t_{изм}}$ ,  $t_{изм} = 0,5 \dots 10$  часов;

$\lambda_{12}$  – интенсивность перехода ИВС в состояние подготовки к тестированию на выявление факта наличия уязвимостей в связи с изменениями ИВС,  $\lambda_{12} = \frac{1}{t_{пт.}}$ ,  $t_{пт.} = 0,1 \dots 1$  часа;

$\lambda_{23}$  – интенсивность перехода ИВС в состояние тестирования,  $\lambda_{23} = \frac{1}{t_{тест}}$ ,  $t_{тест} = 0,1 \dots 1$  часа;

$\lambda_{30}$  – интенсивность перехода ИВС в состояние «0» без выявленных уязвимостей,  $\lambda_{30} = \frac{1}{t_{з.без.у.}}$ ,  $t_{з.без.у.} = 0,1 \dots 1$  часа;

$\lambda_{34}$  – интенсивность перехода ИВС в состояние принятия решений о корректировке СЗИ ИВС на основе выявленных уязвимостей,  $\lambda_{34} = \frac{1}{t_{выяв.у.}}$ ,  $t_{выяв.у.} = 0,5 \dots 10$  часов;

$\lambda_{45}$  – интенсивность перехода ИВС в состояние изменения СЗИ ИВС для устранения уязвимостей,  $\lambda_{45} = \frac{1}{t_{устр.у.}}$ ,  $t_{устр.у.} = 0,5 \dots 10$  часов;

$\lambda_{50}$  – интенсивность перехода ИВС в состояние «0» с измененной СЗИ ИВС и устраненными уязвимостями,  $\lambda_{50} = \frac{1}{t_{з.изм.СЗИ.}}$ ,  $t_{з.изм.СЗИ.} = 0,1 \dots 1$  часа.

Эксперты утверждают, что интенсивности  $\lambda_{34}$  и  $\lambda_{45}$  считаются наиболее важными показателями, от которых зависит показатель защищенности ИВС  $P_{ИВ}$ , так как они обуславливаются  $t_{выяв.у.}$  – время выявления уязвимости – и  $t_{устр.у.}$  – время устранения уязвимости. График зависимости  $P_{ИВ}$  от  $t_{выяв.у.}$  показан на рисунке 5. График зависимости  $P_{ИВ}$  от  $t_{устр.у.}$  показан на рисунке 6.

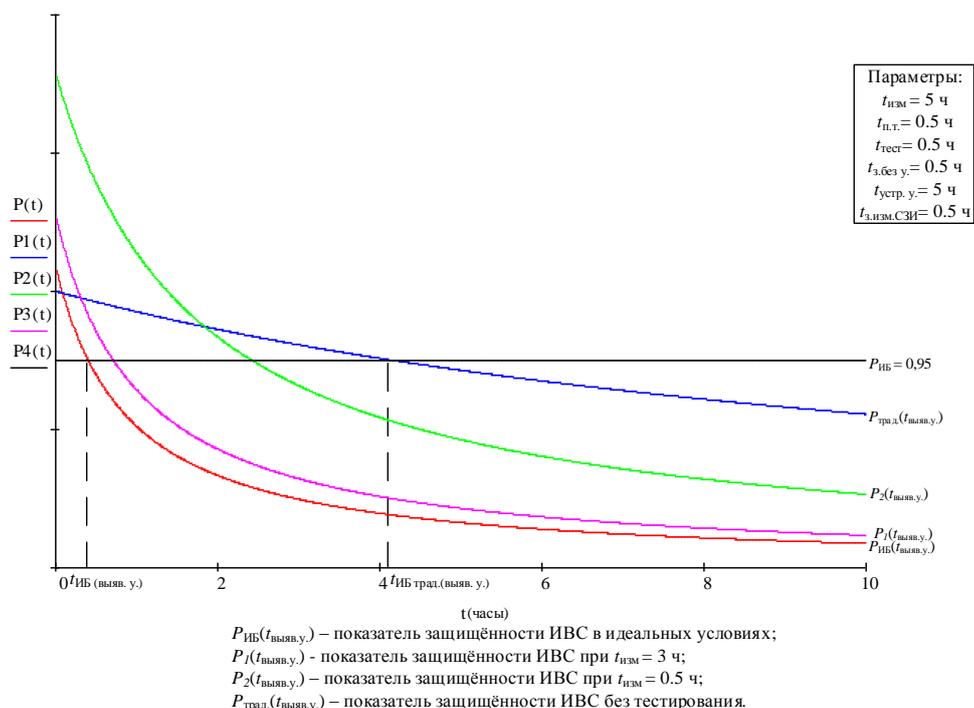


Рисунок 6 – График зависимости  $P_{ИБ}$  от  $t_{выяв.у.}$

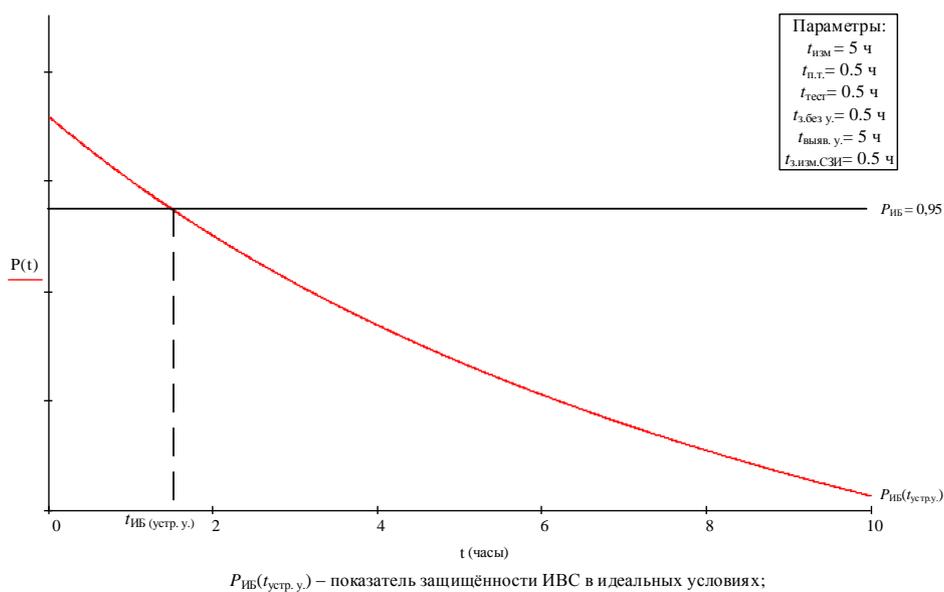


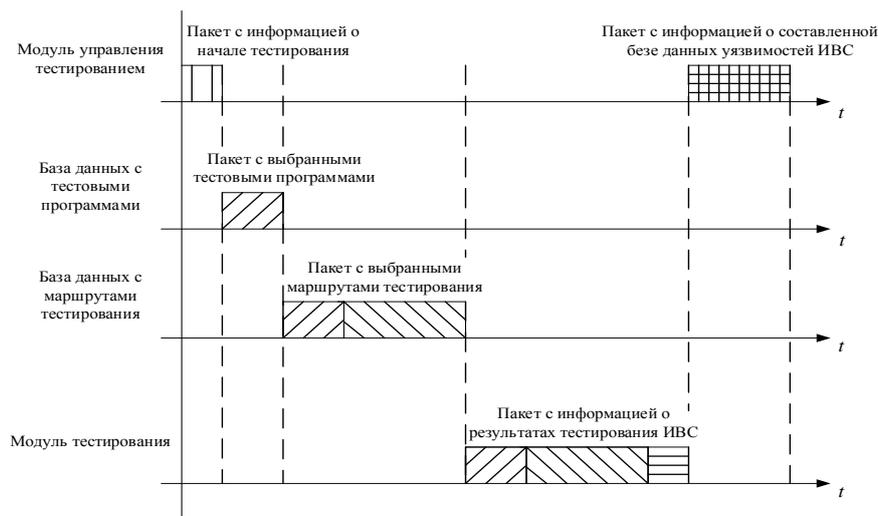
Рисунок 7 – График зависимости  $P_{ИБ}$  от  $t_{устр.у.}$

Из рисунка 5 следует, что, используя блок «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных», требуемый показатель защищенности ИВС достигается за более малое время  $t_{ИБ(выяв.у.)}$ , чем при использовании традиционных способов и методов защиты информации. Вместе с тем уменьшается среднее время выявления и устранения уязвимостей  $\bar{t}_{выяв.у.}$  и  $\bar{t}_{устр.у.}$ , отсюда следует, что показатель времени исправной работы ИВС увеличивается.

Работа блока «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных» показана на временных диаграммах (рис. 8).

Исходными данными для алгоритма цикла защиты информации от НСВ в ИВС АСМ являются:

- состав защищаемых ресурсов (определение критически важных для функционирования НСВ в ИВС ресурсов, их количество, на каких серверах и (или) АРМах они расположены);
- состав и параметры функционирования средств защиты ресурсов (количество средств защиты ресурсов, на каких серверах и (или) АРМах они расположены, каким образом организована защита ресурсов);
- параметры линий связи (вид ЛС, пропускная способность ЛС);
- параметры для расчета оценки уязвимости ( $P_{у.з.}$ ,  $C_{к.ИВС}$ );
- параметры критических значений оценки уязвимости ИВС и показателя защищённости ИВС ( $P_{кр.у.}$ ,  $P_{кр.з.}$ ).



**Рисунок 8 – Временная диаграмма работы блока «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных»**

Исходя из вышесказанного, предлагается выделить 3 этапа создания и сопровождения СЗИ ИВС:

**I. Проектирование и создание.**

Данный этап проводится во время таких стадий жизненного цикла ИВС, как «Разработка аванпроекта», «Разработка технического задания», «Проектирование». В этом этапе проводятся следующие виды работ:

1. Определение структуры ИВС.
2. Определение состава ресурсов ИВС.
3. Определение состава и параметров функционирования СЗИ.

4. Внедрение СЗИ в ИВС, обеспечения безопасности каждого отдельного ресурса ИВС.

**II. Функционирование.**

Этап «Функционирования» проводится во время стадии функционирования ИВС «Внедрение» и действий злоумышленника: «Разведка» и «Принятие решения». Согласно стадии цикла функционирования ИВС происходит ввод ИВС в эксплуатацию. Проверяется наличие уязвимостей в ИВС с помощью блока «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных», в случае подтверждения факта наличия уязвимостей производится сбор данных о нарушениях стабильности эксплуатации и нарушениях безопасности ресурсов и ИВС, составляется отчет и определенная документация. Данные действия ведутся в рамках одноименной стадии цикла защиты информации «Функционирование». Во время действия злоумышленника «Реализации атаки» проводится стадия цикла защиты информации «Выявление атаки», включающая следующие работы:

1. Проверка СЗИ и расчёт количественной оценки уязвимости ИВС АСМ.
2. Сравнение полученных результатов с параметрами.
3. Если результаты не удовлетворяют параметрам, то производится сбор данных об уязвимостях ресурсов и ИВС в целом, всё это отражается в отчётах и определённой документации, после чего производится переход к следующему этапу.

### III. Совершенствование.

Данный этап проводится во время стадии цикла функционирования ИВС «Сопровождение» и действия злоумышленника «Реализации атаки». На этом этапе в рамках стадии цикла защиты информации «Принятие решения» проводятся следующие работы:

1. Производится анализ отчетов и документации, составленных на этапе «Функционирование». На основе анализа составляется показатель защищенности ИВС.
2. Сравнение показателя защищенности ИВС с определенным установленным критическим параметром.
3. Если показатель защищенности ИВС не удовлетворяет установленному критическому параметру, то производится выбор способов и средств защиты.
4. Проверка СЗИ и расчет примерной количественной оценки уязвимости ИВС с учетом выбранных способов и средств защиты, если выбор эффективен, то происходит переход к следующей стадии цикла защиты информации «Реализация защиты».

В рамках стадии «Реализация защиты» производится изменение СЗИ ИВС с учетом выбранных способов и средств, после чего проводится переход к началу цикла – «Функционирование».

Алгоритм защиты информации от НСВ ИВС состоит из стадий «Функционирование», «Выявление атаки», «Принятие решений» и «Реализация защиты», находящихся в цикле.

Блок «Тестирования СЗИ ИВС и выявления уязвимостей, составления базы данных» из рисунка 2 состоит из следующих действий:

1. Формирование таблицы тестирования СЗИ ИВС.
2. Выбор тестовых программ из базы данных для составления программы на тестирование СЗИ ИВС.
3. Выбор маршрута тестирования для составления программы на тестирование СЗИ ИВС.
4. По данным 2 и 3 пунктов происходит тестирование СЗИ ИВС на выявление факта наличия уязвимостей.
5. После тестирования, если уязвимости ИВС выявлены, то происходит сбор данных по выявленным уязвимостям и оформление их в базу данных, после происходит переход к следующему блоку алгоритма защиты информации от НСВ в ИВС, а именно – оценки уязвимости, иначе сразу к блоку оценки уязвимости ИВС. Действия по выявлению уязвимостей, реагированию на риски и возможности. После тестирования ИВС и оценки уязвимости получаем рекомендации по совершенствованию СЗИ ИВС, которые помогут повысить уровень ИБ до должного показателя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм защиты информации от НСВ ИВС при масштабировании АСМ предприятия интегрированной структуры обеспечит требуемый уровень защищенности.

Разработанный алгоритм позволит своевременно среагировать на события, требующие внимания со стороны персонала, занимающегося вопросами обеспечения информационной безопасности ИВС, а также уменьшить время на выявление атаки и время принятия решения на локализацию атаки. При разработке алгоритма учитывались параметры процесса функционирования АСМ предприятия интегрированной структуры и процесса атаки злоумышленника.

Контроль уязвимостей организации при масштабировании ИВС АСМ – это не просто «инвентаризация» ИВС, а тщательная и всесторонняя работа по исследованию ИВС, которая

дает наиболее полную картину состояния защищенности и позволяет сформировать требования к комплексной системе защите информации в ИВС организации.

Проведение квалифицированного контроля уязвимостей и исполнение комплекса мер по защите информационных ресурсов по рекомендациям, выработанным в результате такого контроля уязвимостей, дает уверенность в защищенности ИВС на определенный период времени. Уверенность в защищенности информационных ресурсов при масштабировании АСМ предприятия интегрированной структуры может быть только тогда обоснована, когда она подтверждена.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т., Афонин С.И. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий // Информационные системы и технологии, 2012. – № 2. – С. 99-105.
2. Аграновский А.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И., Селин Р.Н. Выявление угроз безопасности как способ предотвращения атак на компьютерные системы // Безопасность информационных технологий, 2008. – № 1. – С. 5-15.
3. Андрианов В.И., Красов А.В., Липатников В.А. Инновационное управление рисками информационной безопасности // Федеральное агентство связи. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Санкт-Петербург, 2012.
4. Томилин В.Н. CISCO AKA + FIREPOWER SERVICES – платформа нового поколения для защиты сети // Тезисы 7-ой Научно-практической конференции «Информационная безопасность. Невский диалог» 10-11 ноября 2015 г., Санкт-Петербург. – С. 14-16.
5. ГОСТ Р 53622-2009. Информационные технологии. Информационно-вычислительные системы. Стадии и этапы жизненного цикла, виды и комплектность документов.
6. Бухарин В.В., Липатников В.А., Сахаров Д.В. Метод управления информационной безопасностью организации на основе процессного подхода // Информационные системы и технологии, 2013. – № 3(77). – С. 102-109.
7. Костарев С.В., Липатников В.А. Анализ состояния и динамики качества объектов автоматизированной системы менеджмента предприятия интегрированной структуры // Информационные системы и технологии», 2015. – № 3(89). – С. 52-64.
8. Липатников В.А., Сахаров Д.В., Стародубцев Ю.И. и др. Способ защиты информационно-вычислительных сетей от компьютерных атак. Патент РФ № 2472211 от 10.01.2013 г. МПК<sup>9</sup> G06F 12/14 H04L 12/22, приоритет 2011 г.
9. Агеев С.А. и др. Концепция автоматизации управления информационной безопасностью в защищенных мультисервисных сетях специального назначения / С.А. Агеев, А.С. Бушуев, Ю.П. Егоров, И.Б. Саенко // Методы и системы защиты информации, информационная безопасность, 2011. – № 1(23).
10. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей: пер. с англ. под ред. Сушкова Б.Г. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
11. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: пер. с англ. – В 2-х томах. – Т. 1. – М.: Мир, 1984. – 528 с.

**Липатников Валерий Алексеевич**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург  
Доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра  
Тел.: 8 921 912 70 81  
E-mail: lipatnikovanl@mail.ru

**Шевченко Александр Александрович**

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург  
Оператор научной роты  
Тел.: 8 910 622 94 13  
E-mail: alexandr\_shevchenko91@mail.ru

V.A. LIPATNIKOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Senior Researcher of Scientific Research Center*)

A.A. ShEVChENKO (*Operator of Scientific Company*)  
*Military Academy of Telecommunications named after Marshal S.M. Budyonny, Saint Petersburg*

### THE VULNERABILITY CONTROL METHOD APPLYING WHILE AUTOMATED INTEGRATED STRUCTURE ORGANIZATION MANAGEMENT SYSTEM SCALING

*The vulnerability control method applying while automated integrated structure organization management system scaling based on the process of vulnerability detection, analysis and quantitative valuation estimation is described in this paper. This method uses AMS functioning process parameters and process of cyber-attack. It allows reduce attack time detection and decision-making time for attack localization and also take actions for AMS information security system development which should increase AMS general security measure of integrated structure organization.*

**Keywords:** *information network (IN); unauthorized interference (UI); information security (IS); vulnerability quantitative valuation; Markov stochastic process; AMS; IS; UI; IN; CA; IN scaling; security measure.*

#### BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Eremenko V.T., Afonin S.I. Sozdanie teoreticheskix osnov avtomatizacii i postroeniya texnologicheskoy sostavlyayushhej ASU territorial'no raspredelenny'x predpriyatij // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 2. – S. 99-105.
2. Agranovskij A.V., Miloslavskaya N.G., Tolstoj A.I., Selin R.N. Vy'yavlenie ugroz bezopasnosti kak sposob predotvrashheniya atak na komp'yuterny'e sistemy' // Bezopasnost' informacionny'x texnologij, 2008. – № 1. – S. 5-15.
3. Andrianov V.I., Krasov A.V., Lipatnikov V.A. Innovacionnoe upravlenie riskami informacionnoj bezopasnosti // Federal'noe agentstvo svyazi. FGBOU VPO «Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny'j universitet telekommunikacij im. prof. M.A. Bonch-Bruevicha», Sankt-Peterburg, 2012.
4. Tomilin V.N. CISCO AKA + FIREPOWER SERVICES – platforma novogo pokoleniya dlya zashhity' seti // Tezisy' 7-oj Nauchno-prakticheskoy konferencii «Informacionnaya bezopasnost'. Nevskij dialog» 10-11 noyabrya 2015 g., Sankt-Peterburg. – S. 14-16.
5. GOST R 53622-2009. Informacionny'e texnologii. Informacionno-vy'chislitel'nye sistemy'. Stadii i e'tapy zhiznennogo cikla, vidy' i komplektnost' dokumentov.
6. Buxarin V.V., Lipatnikov V.A., Saxarov D.V. Metod upravleniya informacionnoj bezopasnost'yu organizacii na osnove processnogo podxoda // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 3(77). – S. 102-109.
7. Kostarev S.V., Lipatnikov V.A. Analiz sostoyaniya i dinamiki kachestva ob''ektov avtomatizirovannoj sistemy' menedzhmenta predpriyatiya integrirovannoj struktury' // Informacionny'e sistemy' i texnologii», 2015. – № 3(89). – S. 52-64.
8. Lipatnikov V.A., Saxarov D.V., Starodubcev Yu.I. i dr. Sposob zashhity' informacionno-vy'chislitel'ny'x setej ot komp'yuterny'x atak. Patent RF № 2472211 ot 10.01.2013 g. MPK 9 G06F 12/14 H04L 12/22, prioritet 2011 g.
9. Ageev S.A. i dr. Koncepciya avtomatizacii upravleniya informacionnoj bezopasnost'yu v zashhishhenny'x mul'tiservisny'x setyax special'nogo naznacheniya / S.A. Ageev, A.S. Bushuev, Yu.P. Egorov, I.B. Saenko // Metody' i sistemy' zashhity' informacii, informacionnaya bezopasnost', 2011. – № 1(23).
10. Fillips D., Garsia-Dias A. Metody' analiza setej: per. s angl. pod red. Sushkova B.G. – M.: Mir, 1984. – 496 s.
11. Feller V. Vvedenie v teoriyu veroyatnostej i ee prilozheniya: per. s angl. – V 2-x tomax. – T. 1. – M.: Mir, 1984. – 528 s.

УДК 004.056

Е.А. МАКСИМОВА, Е.А. ВИТЕНБУРГ

## АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИНСАЙДЕРСКОЙ АКТИВНОСТИ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ

*Вопрос обеспечения качественной защиты информации принимает все большую значимость. Анализ статистики, предоставленной Лабораторией Касперского, InfoWatch, PositiveTechnology, показывает, что увеличивается не только число разного рода атак, но и растет тяжесть наносимого ущерба. Ключевыми рисками внутри компаний являются незнание сотрудниками правил информационной безопасности, приводящее к случайным утечкам данных (36%), а также намеренное раскрытие конфиденциальной информации сотрудниками (23%). Данные инциденты приводят как к финансовым потерям, так и к репутационным. Актуальной задачей является разработка программного комплекса предотвращения инсайдерской активности и оценки эффективности работы персонала организации. Данный программный комплекс принципиально отличается от уже созданных моделей определения и предотвращения инсайдерской активности с учетом оценки эффективности работы персонала организации.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность; инсайдер; формализованная модель; эффективность; эталон; архитектура.

Бесперебойное функционирование информационной системы (ИС) организации обеспечивается, помимо всего прочего, и созданной системой защиты информации. Организация информационной безопасности – неотъемлемая часть функционирования любой организации и предприятия. Существует огромное множество организационных мер и технических средств для обеспечения защищенности информации. Однако такие методы обеспечения защиты информации, как регламентация, побуждение и принуждение персонала к четкому исполнению только разрешенных действий, не всегда эффективны и не позволяют свести к минимуму активность внутреннего злоумышленника в лице инсайдера.

На сегодняшний день в ходе выявления инсайдерской деятельности широко применяются так называемые DataLeakPrevention-системы (DLP) [1]. Данная технология позволяет предотвратить утечку конфиденциальной информации из информационной системы. Функционал данных систем разнообразен, однако он не позволяет на ранних стадиях определить потенциального злоумышленника. Более того, обозначенные программные комплексы не позволяют оценить степень эффективности работы пользователей. При этом данная оценка позволит не только сформировать методику работы с персоналом с целью ее оптимизации, но и выявить инсайдера [2].

Предложен новый подход, основанный на оценке эффективности работы персонала организации, основанный на следующих составляющих:

- по результатам аудита действий пользователя определяется уровень инсайдерской активности;
- на основании сравнения шаблона эталонной работы и результатов мониторинга текущих действий определяется степень легитимности и эффективности действий пользователя;
- осуществляется расчет рисков и моделирование работы пользователей для определения вероятности отнесения конкретного пользователя к внутреннему злоумышленнику;
- по результатам моделирования осуществляется расчет возможных рисков при реализации негативного сценария действия пользователя в качестве злоумышленника.

Так как учет всех показателей работы позволит наиболее корректно оценить работу каждого пользователя, то в соответствии с формализацией процесса обеспечения

информационной безопасности при реализации инсайдерских атак [3] эталонная модель эффективности представима в виде кортежа (1):

$$Efficiency_{ref} = \{L, W_{nj}^{ref}, N_{ref}, K_{ref}, \{P_{ref}\}, T_{ref}\}, \quad (1)$$

где  $L$  – эталонный показатель личностных характеристик пользователя;  $W_{nj}^{ref}$  – время, установленное руководителем, на выполнение  $n$ -ым пользователем  $j$ -ой задачи,  $j = \overline{1, N}$ ;  $N_{ref}$  – установленное количество задач для выполнения  $n$ -ым пользователем;  $K_{ref_{nj}}$  – показатель требуемого качества выполнения  $j$ -ой задачи  $n$ -ым пользователем;  $P_{ref}$  – множество выполненных запрещенных действий  $n$ -ым пользователем;  $T_{ref}$  – нормативное время работы  $n$ -го пользователя.

Фактическая эффективность работы  $n$ -ого пользователя представима в формализованном виде:

$$Efficiency_{t_n} = \{L_n, W_{nj}, N_{t_n}, K_{t_n}, \{P_{t_n}\}, T_{t_n}\}, \quad (2)$$

где  $L_n$  – показатель личностных характеристик  $n$ -го пользователя. Определяется для каждого пользователя индивидуально;  $W_{nj}$  – фактическое время выполнения  $n$ -ым пользователем  $j$ -ой задачи ( $W_{nj}$  необходим для расчета эффективности работы пользователя);  $N_{t_n}$  – количество фактически выполненных задач  $n$ -ым пользователем;  $K_{t_n}$  – показатель качества фактически выполненных задач;  $T_{t_n}$  – фактическое время, затраченное пользователем на выполнение своих должностных обязанностей;  $P_{t_n}$  – множество фактических действий пользователя в ходе работы.

Для определения эффективности работы  $n$ -го пользователя сравниваются показатели кортежей (1) и (2). При этом используется комплексное сравнение соответствующих показателей и рассчитывается:

- относительное время на выполнение  $n$ -ым пользователем  $j$ -ой задачи:

$$W^n = \frac{W_{nj}}{W_{nj}^{ref}} * 100\% \quad (3)$$

- относительное количество работ:

$$N^n = \frac{N_t}{N_{ref}} * 100\% = \frac{f_n(W_{nj})}{f_n(W_{nj}^{ref})} * 100\% \quad (4)$$

- относительное качество работ:

$$K^n = \sum_{j=1}^N \frac{K_t}{K_{ref}} * 100\%. \quad (5)$$

- относительная оценка количества легитимных действий:

$$P^n = \frac{\sum_j P_j^n}{100}, \quad (6)$$

где  $P_j^n = \begin{cases} 1, & \text{если } P_t \in P_{ref} - \text{ не обнаружены запрещенные изменения} \\ 0, & \text{если } P_t \notin P_{ref} - \text{ обнаружены запрещенный изменения} \end{cases}$ .

- относительная оценка использования рабочего времени сотрудником:

$$T^n = \frac{T_t^n}{T_{ref}} * 100\% \quad (7)$$

- относительная оценка личностных характеристик:

$$L^n = \frac{L_n}{L} * 100\% \quad (8)$$

Формулы (3-8) используются для определения эффективности работы n-ого пользователя. При этом возможно оценить эффективность работы группы пользователей ( $n=1\dots k$ ) через усредненную оценку соответствующих показателей.

На основе построенной математической модели можно сформулировать задачу оптимизации:

$$Efficiency_t \rightarrow max,$$

где  $L_n \rightarrow max$ ,  $W_{nj} \rightarrow min$ ,  $T_s \rightarrow max$ ,  $T_u \rightarrow min$ ,  $N \rightarrow max$ ,  $K \rightarrow max$ ,  $P \rightarrow max$

при ограничениях:

$$K \geq 1 - K_d, N \geq 1 - N_d, P \rightarrow 0, T_t \geq T_n. \quad (4)$$

В формуле (4)  $N_d$  – допустимое относительное отклонение количества выполненных работ;  $K_d$  – допустимое относительное отклонение качества выполненных работ.

Таким образом, эффективность работы пользователя можно определить, исходя из соответствия эталонным значениям таких параметров, как: требуемые личностные характеристики пользователя, требуемое время выполнения j-ой задачи n-ым пользователем, требуемое количество выполненных работ, требуемое качество выполненных работ, отсутствие запрещенных действий, требуемое использование времени на дискуссии и обсуждения вариантов решения задачи в допустимых пределах, требуемое использование рабочего времени. В случае выявления несоответствий выносятся рекомендации для улучшения значения соответствующего параметра.

На основе формализованной модели обеспечения информационной безопасности при реализации инсайдерских атак [4, 5] разработана архитектура программного комплекса предотвращения действий внутреннего злоумышленника и оценки эффективности работы персонала организации (рис. 1). В ее структуре три основных модуля: модуль «Сервер», модуль «Клиент-руководитель» и модуль «Клиент-пользователь».

Модуль «Сервер» включает в себя следующие блоки: модуль «Управление сервером», модуль «Регистрация пользователей», модуль «Работа с базой данных шаблонов», база данных «Шаблоны эталонной работы пользователя», модуль «Формирование эталонной работы пользователя», модуль «Оценка легитимности и эффективности работы пользователя», модуль «Работа с базой данных результатов контроля», база данных «Результаты контроля», модуль «Формирование отчета и выдача рекомендаций», модуль «Связь с клиентами».

Модуль «Клиент-руководитель» включает в себя следующие блоки: модуль «Управление клиент-руководителем», модуль «Выбор анкет для пользователя», модуль «Органайзер руководителя», модуль «Формирование модели пользователя», модуль «Оценка результатов и расчет рисков», модуль «Связь с сервером», модуль «Связь с клиент-пользователями», модуль «Работа с базами данных», база данных «Анкеты», база данных пользователей, база данных задач.

Модуль управления выполняет управление процессом передачи между модулями сведений. Входы и выходы остальных блоков связаны с модулем управления, посредством которого обмениваются сведениями. Модуль «Клиент-пользователь» включает в себя следующие блоки: модуль «Управление клиент-пользователем», модуль «Инвентаризация программных средств», модуль «Инвентаризация аппаратных средств», модуль «Определение доступных пользователю ресурсов», модуль «Мониторинг текущих действий пользователя», модуль «Анкетирование и ввод характеристик пользователя», модуль «Работа с базой данных результатов проверок», база данных «Результаты проверок», модуль «Связь с клиентом-руководителем и сервером».

Модуль управления выполняет управление процессом передачи между модулями сведений. Входы и выходы остальных блоков связаны с модулем управления, посредством которого обмениваются сведениями. Связь между основными модулями выполняется средствами блоков: модуль связи с клиентами, модуль связи с сервером, модуль связи с клиентами-пользователями и модуль связи с клиентом-руководителем и сервером.

В соответствии с предложенной архитектурой через связь модуля «Управление сервером» и модуля «Регистрация пользователей» осуществляется создание учетной записи о новом пользователе, содержащей полную информацию о данном пользователе. На основе данных, содержащихся в учетной записи, осуществляется создание эталона работы пользователя на основе полученных характеристик: коэффициента личностных характеристик  $n$ -го пользователя, времени, установленного руководителем, на выполнение  $n$ -ым пользователем  $j$ -ой задачи, требуемого количества выполненных задач, требуемого качества выполненных задач, отсутствия запрещенных действий, требуемой длительности рабочего дня. В то же время можно выбрать готовый шаблон, так как модуль «Работа с базой данных шаблонов» обеспечивает чтение и запись шаблонов эталонной работы пользователей в базу данных «Шаблоны эталонной работы пользователей». Далее через связь модуля «Управление клиент-руководителем» и модуля «Выбор анкет для пользователя» руководитель выбирает необходимую для тестирования сотрудника анкету.

Далее модуль «Организатор руководителя» позволяет правильно сформировать список текущих задач, выполнение которых необходимо для достижения цели. На основе полученных данных модуль «Формирование модели пользователя» создает модель пользователя, которая содержит всю информацию о пользователе, его физических и личностных особенностях, влияющих на скорость и качество и, следовательно, на эффективность работы пользователя.

Клиент-пользователь через модуль «Управление клиент-пользователем» получает задачи от клиент-руководителя и вводит свои характеристики при помощи модуля «Анкетирование». Модуль «Инвентаризация программных средств» осуществляет сбор информации о программном обеспечении для осуществления контроля изменений его текущего состава и выявления не декларированного программного обеспечения.

Модуль «Инвентаризации аппаратных ресурсов» осуществляет сбор данных об аппаратном обеспечении для текущего контроля изменений его состава.

Модуль «Мониторинг текущих действий пользователя» осуществляет наблюдение и регистрацию действий пользователя, взаимодействует с модулем «Оценка легитимности и эффективности работы пользователя» через модуль «Связь с клиентом-руководителем и сервером».

Модули «Инвентаризация программных средств», «Инвентаризация аппаратных средств», «Мониторинг текущих действий пользователя» работают в фоновом режиме. Результаты работы данных модулей записываются модулем «Работа с базой данных результатов проверок» в базу данных «Результаты проверок».

Модуль «Связь с клиентом-руководителем и сервером» передает результаты проведенные модулем «Мониторинг текущих действий пользователя» в модуль «Связь с клиентами». Через модуль «Управление сервером» модуль «Связь с клиентами» передает полученные данные в модуль «Оценка легитимности и эффективности работы пользователя (аудит)». Результаты проведенной оценки хранятся в базе данных «Результаты контроля», которые записываются через модуль «Работа с базой данных результатов контроля». По результатам проведенного контроля модуль «Формирование отчета и выдача рекомендаций» строит отчет.

Предложенная архитектура является основой для построения программного комплекса предотвращения инсайдерской активности и оценки эффективности работы персонала организации, позволяющего повысить уровень информационной безопасности предприятия. Качественные изменения при этом возможны за счет уменьшения времени сигнала о нарушении путем определения на ранних стадиях потенциального

злоумышленника и формирования методики работы с персоналом так, чтобы эффективность работы каждого из сотрудников была максимальна.

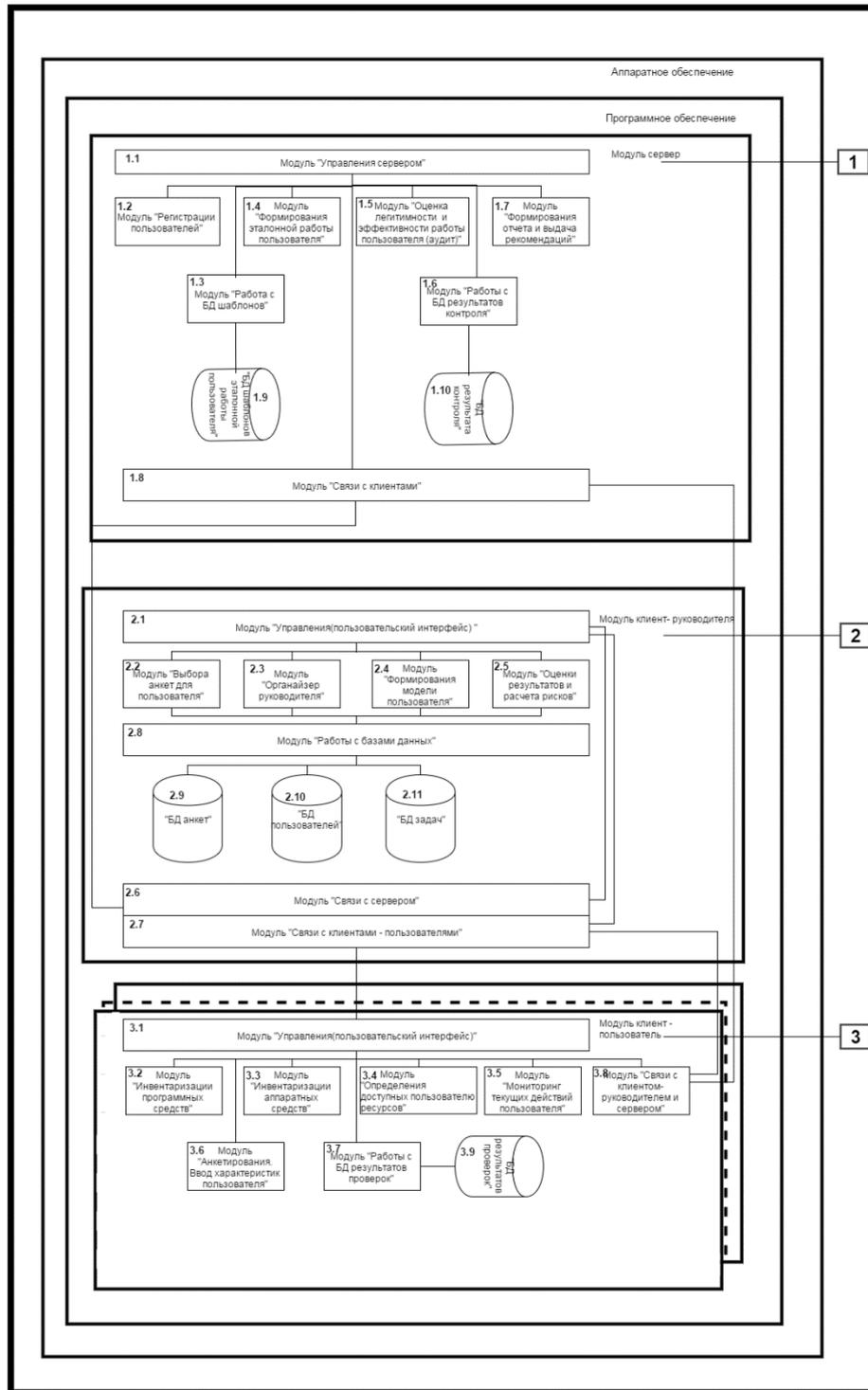


Рисунок 1 – Архитектура программного комплекса предотвращения инсайдерской активности и оценки эффективности работы персонала организации

Разработка архитектуры программного комплекса проведена при поддержке РФФИ и администрации Волгоградской области в рамках разработки проекта №14-7-97014r\_povolzhe\_a.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимова Е.А. и др. Контроль деятельности персонала и защищенность информационных ресурсов организации / Е.А. Максимова, А.М. Цыбулин, М.Н. Свищева, Е.А. Витенбург // Историческая и социально-образовательная мысль, 2014. – С. 200-203.

2. Maksimova E. and other. Software implementation of techniques for monitoring the effectiveness of the staff / E. Maksimova, A. Tsybolin, M. Svishcheva, E. Vitenburg // Scope Academic Hous. B©M PUBLISHING. 2th International Conference Technical sciences: modern issues and development prospects, 2010. – № 10. – Sheffeid, UK. – P. 44-50.
3. Максимова Е.А., Витенбург Е.А. Формализация процесса обеспечения информационной безопасности при реализации инсайдерских атак // Известия ТулГУ. Технические науки, 2015. – Вып 8. – В 2 ч. Ч. 2. – Тула: Издательство ТулГУ. – С 231-238.
4. Максимова Е.А., Витенбург Е.А., Богданов В.В. Численное прогнозирование инсайдерских атак. Информационное противодействие угрозам терроризма // Материалы XIX пленума УМО в области информационной безопасности, г. Таганрог, 2015. – С. 249-254.
5. Максимова Е.А., Витенбург Е.А. Инсайдерские атаки и противодействие им. Актуальные вопросы информационной безопасности регионов в условиях глобализации информационного пространства: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, г. Волгоград, 24-25 апреля 2015 г. – В.: Издательство ВолГУ, 2015. – С. 85-87.

**Максимова Елена Александровна**

ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград  
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационная безопасность»  
Тел.: 8 917 847 16 28  
E-mail: mvpuno@yandex.ru

**Витенбург Екатерина Александровна**

ФГАОУ ВПО «Волгоградский государственный университет», г. Волгоград  
Студентка  
Тел.: 8 906 408 65 73  
E-mail: kalinina573@bk.ru

---

E.A. MAKSIMOVA (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Information Security»*)

E.A. VITENBURG (*Student*)  
*Volgograd State University, Volgograd*

**ARCHITECTURE OF SOFTWARE FOR PREVENTION OF INSIDER ACTIVITY AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE PERSONNEL**

*The issue of quality of information security is taking more importance. Analysis of the statistics provided by Kaspersky Lab, InfoWatch, PositiveTechnology, shows that not only increases the number of different kinds of attacks, but also increases the severity of the damage caused. The key risks within companies are members of the ignorance of the rules of information security leading to the accidental release of the data (36%), as well as the intentional disclosure of confidential information by employees (23%). These incidents led to both financial losses and a reputation. An urgent task is to develop a software package to prevent insider activity, and evaluating the performance of the organization's personnel. This software is fundamentally different from already established models of determination and prevention of insider activity, taking into account the evaluation of the effectiveness of the organization's personnel.*

**Keywords:** *information security; insider, formalized model; efficiency; standard; architecture.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Maksimova E.A. i dr. Kontrol' deyatel'nosti personala i zashhishennost' informacionny'x resursov organizacii / E.A. Maksimova, A.M. Sy'bulin, M.N. Svishheva, E.A. Vitenburg // Istoricheskaya i social'no-obrazovatel'naya my'sl', 2014. – S. 200-203.
2. Maksimova E. and other. Software implementation of techniques for monitoring the effectiveness of the staff / E. Maksimova, A. Tsybolin, M. Svishcheva, E. Vitenburg // Scope Academic Hous. B©M PUBLISHING. 2th International Conference Technical sciences: modern issues and development prospects, 2010. – № 10. – Sheffeid, UK. – P. 44-50.

3. Maksimova E.A., Vitenburg E.A. Formalizaciya processa obespecheniya informacionnoj bezopasnosti pri realizacii insajderskix atak // Izvestiya TulGU. Texnicheskie nauki, 2015. – Vy'p 8. – V 2 ch. Ch. 2. – Tula: Izdatel'stvo TulGU. – S 231-238.
4. Maksimova E.A., Vitenburg E.A., Bogdanov V.V. Chislennoe prognozirovanie insajderskix atak. Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma // Materialy' XIX plenuma UMO v oblasti informacionnoj bezopasnosti, g. Taganrog, 2015. – S. 249-254.
5. Maksimova E.A., Vitenburg E.A. Insajderskie ataki i protivodejstvie im. Aktual'ny'e voprosy' informacionnoj bezopasnosti regionov v usloviyax globalizacii informacionnogo prostranstva: materialy' IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Volgograd, 24-25 aprelya 2015 g. – V.: Izdatel'stvo VolGU, 2015. – S. 85-87.

УДК 005:92 (075.8)

А.Н. ЦИБУЛЯ, ХО МИНЬ НГИА

**АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ЖУРНАЛА РЕГИСТРАЦИИ  
СИСТЕМНЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КЛАСТЕРИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

*В статье представлены результаты исследования технологии обработки документированной информации в системах электронного документооборота в отношении выявления возникающих при этом аномалий. При этом описывается процедура анализа журнала регистрации системных процессов (лог-файла) с целью выявления аномалий с использованием кластерного алгоритма анализа социальных сетей.*

**Ключевые слова:** электронный документооборот; социальные сети; кластерный анализ.

В соответствии с требованиями стандартов, документы, циркулирующие в системах электронного документооборота (СЭД), должны обладать такими свойствами, как аутентичность, подлинность, целостность, доступность, легитимность и др. При этом понятие «аутентичность» согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335-1-2006 может относиться не только непосредственно к самому объекту (электронному документу), но и к процессам его обработки. В этом смысле данное понятие становится близким по смыслу термину «легитимность», который согласно ГОСТ Р 52292–2004 означает свойство документа, состоящее в том, что демонстрируемое представление документа содержит параметры, объективно подтверждающие правомерность использованных на протяжении жизненного цикла документа технологий.

Процесс обработки документированной информации в СЭД сопряжен со множеством угроз, которые могут повлиять на свойства документов. В отношении базовых аутентифицирующих метаданных электронных документов (ЭД), таких, как автор, отправитель и другие должностные лица (ДЛ), участвующие в работе над ЭД, а также время составления (отправки), созданы и активно используются надежные механизмы защиты, основными из которых является электронная подпись и метки времени. В то же время проведенный в [1] анализ угроз аутентичности ЭД показал, что на нее также могут существенно влиять угрозы (или их предпосылки), связанные с нарушением структуры делопроизводственного процесса, такие, как:

- нарушение регламентированной технологии обработки ЭД;
- нарушение состава ДЛ, участвующих в процессе обработки ЭД;
- нарушение прав должностных лиц по выполнению делопроизводственных операции.

Данные нарушения, как правило, не могут быть выявлены путем анализа аутентифицирующих метаданных записей, входящих в состав ЭД. Их можно выявить путем сравнения контекстных метаданных ЭД с общими параметрами делопроизводственного процесса, реализуемого в организации. Для анализа может быть использован журнал регистрации системных процессов СЭД или, как его еще называют, лог-файл. Ведение журнала регистрации системных событий входит в состав обязательных функциональных требований к СЭД [2]. Обобщенный примерный вид данного журнала представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример заполнения журнала регистрации системных процессов СЭД

Случай	Событие	Время	Исполнитель	Тип операции
1 (Исходящий документ № 14234)	1	13:00 10.5.2015	Петров	Подготовка документа
	2	7:00 11.5.2015	Иванов	Регистрация
	3	15:00 11.5.2015	Кузьмин	Согласование

	4	16:00 12.5.2015	Борисов	Подпись
	5	17:00 13.5.2015	Титов	Отправка
2 (Входящий документ № 279)	1	12:00 10.5.2015	Петров	Получение документа
	2	15:00 11.5.2015	Иванов	Регистрация
....		....	....	....
....		....	....	....
3 (Внутренний документ № 89650)	1	13:00 12.5.2015	Титов	Подготовка документа
	2	14:00 13.5.2015	Борисов	Регистрация
	3	15:00 13.5.2015	Петров	Утверждение

Из таблицы видно, что иерархически лог-файл СЭД состоит из следующих частей:

- процесс – совокупность траекторий обработки всех ЭД (документопоток);
- случай – траектория (подпроцесс) обработки одного идентифицированного ЭД;
- событие – одна делопроизводственная операция обработки ЭД, которую можно представить кортежем  $\langle d, o, p \rangle$ , где  $d$  – документ,  $o$  – вид операции,  $p$  – должностное лицо (ДЛ), выполнившее операцию.

Исходя из данной структуры, можно рассмотреть три составляющие (проекции) делопроизводственного процесса:  $O \times O$ ,  $P \times P$  и  $P \times O$ . Первая составляющая описывает лог-файл  $L$  в виде совокупности последовательных траекторий  $L = \{t_i | t_i \in O^*\}$ , где под траекторией  $t$  (случаем) понимается последовательность операций такая, что  $t \in O^*$ . При этом  $O^*$  – совокупность всех сочетаний из алфавита типов делопроизводственных операций  $O$ . Вторая составляющая описывает организационную структуру документопотока  $P(L)$  в виде «социальной сети», которая может быть представлена графом совместной работы ДЛ  $G$  с  $N$  вершинами  $\{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ . Третья составляющая показывает распределение ДЛ по операциям делопроизводственного процесса.

В данной работе представлен алгоритм выявления угрозы нарушения состава ДЛ, участвующих в процессе обработки ЭД с использованием метода кластеризации социальных сетей.

Исходными данными для работы алгоритма являются:

- множество ДЛ, участвующих в анализируемом делопроизводственном процессе  $P(L)$  и матрица близости между ними  $A_{ij}$ ;
- состав ДЛ, участвующих в единичном случае обработки ЭД  $p(d)$ , в отношении которого проводится проверка.

Существуют два основных способа анализа связи между ДЛ для построения матрицы близости  $A_{ij}$ :

- с учетом передачи работы внутри случая: строится ориентированный граф взаимосвязи между исполнителями, где вершины графа – исполнители, а вес дуг вычисляется исходя из того, сколько раз один исполнитель выполнял свою операцию перед другим (по всему  $L$ ).

- с учетом совместной работы: строится неориентированный граф взаимосвязи между исполнителями, где вершины графа – исполнители, а для каждой пары исполнителей вычисляется, во скольких случаях они совместно работали в рамках одного случая.

Для неструктурированных процессов, реализуемых в СЭД класса ad-hoc (по случаю), более подходит способ анализа с учетом совместной работы. Пример матрицы близости ДЛ и соответствующий граф представлены на рисунке 1.

Рассмотрим более подробно, каким образом можно выявить нарушение состава ДЛ, участвующих в процессе обработки ЭД. Для проектирования систем документооборота и анализа их безопасного функционирования используются методы, связанные с распознаванием социограмм, которые определяют взаимосвязи между пользователями системы. Идея выявления аномального состава ДЛ, участвующих в процессе обработки ЭД заключается в анализе данных из лог-файла, составлении на основе проведенного анализа

графа социальной сети путем объединения в группы сотрудников, наиболее часто участвующих совместно в документопотоках, и «наложения» на полученный граф анализируемого документопотока, как показано на рисунке 2.

Матрица близости между ДЛ

$A_{ij}$	Петров	Иванов	Кузьмин	Борисов	Титов
Петров	-	2	1	2	3
Иванов	2	-	1	1	1
Кузьмин	1	1	-	2	2
Борисов	2	1	2	-	2
Титов	3	1	2	2	-

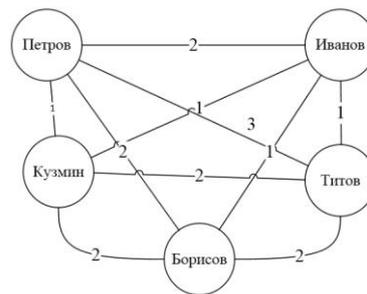


Рисунок 1 – Структура графа «Социальной сети»



Рисунок 2 – Обобщенная схема выявления угрозы нарушение состава ДЛ, участвующих в процессе обработки ЭД в СЭД с использованием аппарата анализа «социальных сетей»

В настоящее время существует достаточно много подходов, позволяющих проанализировать степень близости пользователей «социальной сети» [3]. Некоторые из них представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Методы кластеризации «социальных сетей»

Метод	Особенности метода
Методы иерархической кластеризации	Иерархические подходы используют меру подобия вершин и группируют вершины, чтобы получить естественное разбиение графа. Методы иерархической кластеризации делятся на две основные категории: – агломеративные – итеративное слияние групп вершин с высокой степенью подобия; – дивизимные – итеративное удаление ребер.
Максимизация целевой функции	Алгоритмы этой группы оптимизируют значение некой функции качества разбиения графа на части. Классическим выбором целевой функции является модулярность (modularity) и ее модификации. Модулярность вводится как характеристика разбиения графа на непересекающиеся компоненты.
Линейные графы	Алгоритм линейных графов заключается в кластеризации ребер. Можно выделить три основных шага алгоритма: – преобразование исходного графа в линейный; ✓ каждое ребро становится вершиной в линейном графе; ✓ каждая вершина становится кликой в линейном графе; – разбиение линейного графа на части алгоритмом для поиска непересекающихся сообществ; – обратное преобразование полученных сообществ линейного графа в сообщества исходного графа.

В данной работе используется метод максимизации целевой функции вместе с жадной оптимизацией Ньюмена [4]. Изначально каждая вершина является кластером, на каждом следующем шаге происходит слияние кластеров, максимально увеличивающее показатель модулярности. Модулярность вводится как характеристика разбиения графа на непересекающиеся компоненты, как показано на рисунке 3.

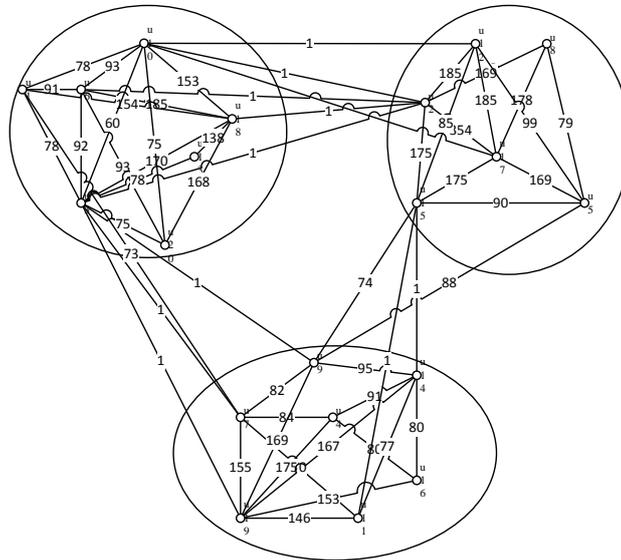


Рисунок 3 – Граф «социальной сети» СЭД после кластеризации

Ниже представлен алгоритм выявления угрозы нарушения состава должностных лиц, участвующих в процессе обработки документированной информации в СЭД.

1. Создаем  $N$  групп с одним ДЛ в каждом  $c_1 = \{p_1\}, c_2 = \{p_2\}, \dots, c_n = \{p_n\}$ ;
2. Вычисляем значение метрик близости  $D(c_i, c_j)$  по формуле

$$D(c_i, c_j) = \frac{1}{|c_i \parallel c_j|} \sum_{x \in |c_i|} \sum_{y \in |c_j|} a_{xy}, \quad (1)$$

где  $|c_i|$  – число вершин (ДЛ), входящих в группу  $i$ ;  $a_{xy}$  – мощность связи между вершинами.

3. Объединяем пару групп с максимальной метрикой близости. Число новых групп  $N' = N - 1$ .
4. Повторяем шаги 2-3-4 до тех пор, пока  $N' = 1$ .
5. Получаем множество групп кластеризации –  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{n-1}\}$ .
6. Вычисляем коэффициенты модулярности для каждой группы  $v_i \in V$  по формуле

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{xy} (A_{xy} - \frac{k_x k_y}{2m}) \sigma(s_x, s_y), \quad (2)$$

где  $m$  – сумма весов всех дуг;  $A_{xy}$  – матрица близости;  $k_x$  – степень группы  $x$  (число инцидентных ей дуг); величина  $\sigma(s_x, s_y) = 1$ , если вершины  $x$  и  $y$  принадлежат одной группе, и равна 0 в противоположном случае.

7. Определяем, в каком случае коэффициент модулярности  $Q$  является максимальным. В результате получаем наилучшее разделение на кластеры  $P(L) = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ , где  $P(L)$  – совокупность сотрудников;  $K$  – кластеры, как показано на рисунке 3.

8. Находим в базе доверенных лог-файлов случаи, в которых ДЛ, участвующие в процессе обработки документа, находятся в разных кластерах по результату, полученному в

шаге 7  $S_l = \{S_{l_1}, S_{l_2}, \dots, S_{l_n}\}$ , и определяем метрики близости для каждого набора  $S_l$  по формуле (1).

9. Определяем наименьшую метрику близости для  $S_l = \{S_{l_1}, S_{l_2}, \dots, S_{l_n}\}$  и устанавливаем ее как границу обнаружения аномальности  $D_{\min}$ .

10. Пусть анализируемый лог-файл имеет набор сотрудников  $p(d)$ . Определяем наименьшее значение метрики близости между  $p(d)$  и кластерами.

$$\min D(p(d), K_i) = \min (D(p(d), K_1), D(p(d), K_2), \dots, D(p(d), K_i)). \quad (3)$$

11. Определяем значение функции  $f$ , сигнализирующей об аномальности набора ДЛ, участвующих в документопотоке  $p(d)$  относительно  $P(L)$ :

$$f(p(d), P(L)) = \begin{cases} 0, & \text{если } \min D(p(d), K_i) > D_{\min} \\ 1, & \text{в противном случае} \end{cases}. \quad (4)$$

Таким образом, в результате проведенного исследования можно сделать вывод, что методы кластерного анализа социальных сетей могут быть использованы при проведении анализа журналов регистрации системных процессов на предмет выявления аномального поведения сотрудников. В качестве аномального в данной работе рассматривается поведение, при котором в процессе работы с документом участвуют ДЛ, которые никогда не работали совместно или же работали очень редко. Данное поведение может говорить о сговоре, подмене авторства или привести к ошибкам вследствие отсутствия опыта совместной работы. В результате аутентичность и (или) юридическая сила документа могут быть оспорены, что повлечет за собой один или несколько видов ущерба.

Используя разработанный алгоритм, можно исследовать возможные предпосылки нарушений информационной безопасности с использованием социоматриц как для электронных документов, находящихся на временном хранении в организации, так и в процессе работы архива электронных документов. Кроме этого, с использованием методов кластерного анализа можно оптимизировать организационную структуру электронного документооборота.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цибуля А.Н., Рябинин В.Н., Максаков И.С. Анализ безопасности документопотоков в системах электронного документооборота // Проблемы развития технологических систем государственной охраны, специальной связи и специального информационного обеспечения. – Сборник материалов 7-й научно-практической конференции (г. Орел, 3-4 марта 2011 г.). – В 10 ч. – Орел.: Академия ФСО России, 2011. – Ч. 8. – С. 74-78.
2. ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007. СИБИБД. Управление документами. Общие требования.
3. Ким Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализы: пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова. – М., 1989.
4. Newman M.E.J. Modularity and community structure in networks // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006. – № 103(23). – P. 8577-8582.

#### **Цибуля Алексей Николаевич**

Академия ФСО России, г. Орел  
Кандидат технических наук, доцент  
Тел.: 8 (4862) 54 99 33  
E-mail: tsibul@mail.ru

#### **Хо Минь Нгиа**

Академия ФСО России, г. Орел  
Сотрудник  
Тел.: 8 (4862) 54 99 33

A.N. CIBULYA (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*)

Xo MIN' NGIA (*Employee*)

*Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel*

**THE ALGORITHM OF THE ANALYSIS OF SYSTEM PROCESSES LOG  
IN THE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM  
USING A CLUSTER ANALYSIS METHOD OF SOCIAL NETWORKS**

*The article presents the results of study documented information processing technology in the electronic document management systems in relation of detection anomalies. This describes the procedure of the analysis of system processes log (log file) in order to detect anomalies using a cluster analysis algorithm in social networks.*

**Keywords:** *electronic document management; social networking; cluster analysis.*

**BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)**

1. Cibulya A.N., Ryabinin V.N., Maksakov I.S. Analiz bezopasnosti dokumentopotokov v sistemax e'lektronnoho dokumentooborota // Problemy' razvitiya tekhnologicheskix sistem gosudarstvennoj oxrany', special'noj svyazi i special'nogo informacionnogo obespecheniya. – Sbornik materialov 7-j nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Orel, 3-4 marta 2011 g.). – V 10 ch. – Orel.: Akademiya FSO Rossii, 2011. – Ch. 8. – S. 74-78.
2. GOST R ISO 15489-1-2007. SIBID. Upravlenie dokumentami. Obshhie trebovaniya.
3. Kim Dzh.-O. Faktorny'j, diskriminantny'j i klasterny'j analizy': per. s angl. / Dzh.-O. Kim, Ch.U. M'yuller, U.R. Klekka i dr.; pod red. I.S. Enyukova. – M., 1989.
4. Newman M.E.J. Modularity and community structure in networks // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006. – № 103(23). – P. 8577-8582.

**ТРЕБОВАНИЯ  
к оформлению статьи для опубликования в журнале  
«Информационные системы и технологии»**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.

В одном сборнике может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журналы, должна иметь следующие **обязательные** элементы:

- постановка проблемы или задачи в общем виде;
- анализ достижений и публикаций, в которых предлагается решение данной проблемы или задачи, на которые опирается автор, выделение научной новизны;
- исследовательская часть;
- обоснование полученных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления;
- библиография.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.

**Обязательные элементы:**

- **УДК**
- **заглавие (на русском и английском языках)**
- **аннотация (на русском и английском языках)**
- **ключевые слова (на русском и английском языках)**
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

**ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

**Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. **Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!** Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт). Сведения об авторах также предоставляются отдельным файлом и обязательно дублируются на английском языке.