

№ 4 (78) июль-август 2013

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)
Бок Т. (Мюнхен, Федеративная Республика Германия)
Гайндрик К. (Кишинев, Молдова)
Долгий А. (Сент-Этьен, Франция)
Еременко В.Т. (Орел, Россия)
Иванников А.Д. (Москва, Россия)
Ипатов О.С. (Санкт-Петербург, Россия)
Колоколов Ю.В. (Ханты-Мансийск, Россия)
Коськин А.В. (Орел, Россия)
Маркарян Г. (Ланкастер, Великобритания)
Подмастерьев К.В. (Орел, Россия)
Поляков А.А. (Москва, Россия)
Распопов В.Я. (Тула, Россия)

Рубрики номера

1. Математическое
и программное обеспечение
вычислительной техники
и автоматизированных систем.....5-18
2. Математическое и компьютерное
моделирование.....19-63
3. Информационные технологии
в социально-экономических
и организационно-технических
системах64-95
4. Телекоммуникационные системы
и компьютерные
сети.....96-121
5. Информационная безопасность и защита
информации.....122-151

Редакция

О.И. Константинова
К.Д. Авазова
А.А. Митин

Сдано в набор 15.06.2013 г.

Подписано в печать 26.06.2013 г.

Формат 60x88 1/8.

Усл. печ. л. 7,5. Тираж 300 экз.

Заказ №

*Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе*

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»

302030, г. Орел, ул. Московская, 65

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: isit@ostu.ru

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.

*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, 2013

№ 4 (78) July-August 2013

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., Ctepanov Y.S.

Editor-in-chief

Konstantinov I.S.

Editorial board

Arhipov O.P. (Orel, Russia)
Averchenkov V.I. (Bryansk, Russia)
Bok T. (Munich, Federal Republic of Germany)
Gaidrik K. (Kishinev, Moldova)
Dolgij A. (Saint-Etienne, France)
Eremenko V.T. (Orel, Russia)
Ivannikov A.D. (Moscow, Russia)
Ipatov O.S. (St. Petersburg, Russia)
Kolokolov J.V. (Khanty-Mansiysk, Russia)
Koskin A.V. (Orel, Russia)
Markaryan G. (Lancaster, Great Britain)
Podmasteriev K.V. (Orel, Russia)
Polyakov A.A. (Moscow, Russia)
Raspopov V.Ya. (Tula, Russia)

*It is sent to the printer's on 15.06.2013,
26.06.2013 is put to bed
Format 60x88 1/8.*

*Convent. printer's sheets 7,5. Circulation 300 copies
The order № _____*

*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. Software of the computer facilities and the automated systems.....5-18
2. Mathematical modeling and computer simulation.....19-63
3. An information technologies in socio-economic and organizational-technical systems.....64-95
4. Telecommunication systems and computer networks.....96-121
5. Information and data security.....122-151

The editors

Konstantinova O.I.
Avazova K.D.
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: 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, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

КОРСУНОВ Н.И., НАЧЕТОВ А.А.

Контроль и коррекция ошибок умножения чисел в зависимости от длительности воздействия помех.....5-9

ПОЛЯНСКИЙ И.С., БЕСЕДИН И.И.

Алгоритм распределения неоднородных дискретных ограниченных ресурсов
в системе физической защиты.....10-18

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ЕРЕМЕНКО А.В.

Имитационное моделирование внутрипротокольных прерываний процессов информационного обмена
в промышленных сетях.....19-25

ЛУБЕНЦОВА Е.В., ВОЛОДИН А.А.

Метод аппроксимирующих преобразований в решении задач управления и моделирования биосистем.....26-35

САВВА Т.Ю.
Разработка алгоритмов построения модифицированной сети Петри при формировании производственных
расписаний для предприятий по переработке плодоовощного сырья.....36-46

САВВА Ю.Б.

Разработка архитектуры автоматизированной информационной системы оценки технического состояния
основных фондов предприятия.....47-56

ЩАГИН А.В., ЙЕ ТУН ТЭЙН, АМОСОВ Е.Ю.

Разработка модели и устройства автоматической стабилизации температурного режима генератора морского
воздуха.....57-63

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ВОЛКОВ В.Н., СТЫЧУК А.А., КОТЛЯР А.А.

Использование концепции управляемых контрольных точек в системе контроля хода выполнения электронных
услуг населению.....64-68

ГОЛУБИНСКИЙ Е.Ю.

Методика аналитического мониторинга качества информационно-аналитических материалов,
подготавливаемых в интересах органов власти.....69-76

ГОНЧАРЕНКО С.Н., МАКЕЕВА Д.В.

Информационная поддержка
мониторинга образовательных рейтингов учащихся в условиях введения системы ФГОС.....77-86

ТАРАСОВА М.А., ВЛАСОВ В.В.

Синергетический эффект при мониторинговых исследованиях системы образования ВУЗа.....87-95

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

ЕРЁМЕНКО В.Т., АНИСИМОВ Д.В., КРАСНОВ Д.А., ВОРОБЬЁВ С.А.

Подход к оценке качества предоставления информационных услуг в беспроводной сети передачи данных
АСУТП газотранспортного предприятия в условиях воздействия помех и внепротокольных прерываний..96-105

ЛОБАНОВА В.А., БОРИСОВ О.М., ФОКИН М.А.

Математическая модель распределения информационных потоков в виртуальных частных сетях (ВЧС)
промышленного предприятия.....106-114

ШУЛЬГИН Р.Н.

Способы и приемы выявления нарушений функционирования в компонентах вычислительной сети
газотранспортного предприятия.....115-121

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

АТКИНА В.С.

Система синтеза проектов рациональных катастрофоустойчивых решений для корпоративных
информационных систем.....122-130

ЛАЗАРЕВ С.А., СИЛАЕВ П.П.

Прикладные аспекты реализации подсистемы безопасной многофакторной аутентификации в сети порталов с
применением цифрового ключа доступа.....131-138

МЕГАЕВ К.А.

Методика управления потоками информации в корпоративных порталах на основе формирования замкнутых
групп пользователей.....139-144

СИЗОНЕНКО А.Б.

Модель линейного рекуррентного регистра сдвига
для параллельной реализации на графическом процессоре.....145-151

CONTENT

SOFTWARE OF THE COMPUTER FACILITIES AND THE AUTOMATED SYSTEMS

- N.I. KORSUNOV, A.A. NACHETOV*
Control and correction of errors multiply numbers depending on the length of interference5-9
- I.S. POLYANSKIY, I.I. BESEDIN*
The algorithm of distribution inhomogeneous digital limited resources in physical protection system.....10-18

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION

- A.V. ERYoMENKO*
Means of industrial networks imitating modelling of intra legal interruptions of processes of information exchange in industrial networks.....19-25
- E.V. LUBENCOVA, A.A. VOLODIN*
Method of approximating reform in solving problems of management and simulation biosystems26-35
- T.Yu. SAVVA*
Development of the algorithms for constructing a modified Petri nets for forming the production schedules for the plants for processing of fruit and vegetable raw materials.....36-46
- Yu.B. SAVVA*
Architectural design of an automated information system for technical evaluation of objects for enterprise asset management.....47-56
- A.V. SHhAGIN, JE TUN TEJN, E.Yu. AMOSOV*
Model and automatic stabilization system of the temperature regime in the sea air generator.....57-63

INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL AND ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS

- V.N. VOLKOV, A.A. STY'ChUK, A.A. KOTLYaR*
The milestones approach to electronic services to the population.....64-68
- E.Yu. GOLUBINSKIY*
Methods of analytical monitoring of information-analytical material quality prepared for government authorities' interest.....69-76
- S.N. GONChARENKO, D.V. MAKEEVA*
Information support for monitoring education student ratings in the introduction of FGOS.....77-86
- M.A. TARASOVA, V.V. VLASOV*
Synergetic effect at monitoring researches of the education system of higher education institution.....87-95

TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND COMPUTER NETWORKS

- V.T. ERYoMENKO, D.V. ANISIMOV, D.A. KRASNOV, S.A. VOROBYoV*
Approach to the evaluation of information services wireless data network APCS gas transportation company under the effect of interference and collision processes.....95-105
- V.A. LOBANOVA, O.M. BORISOV, M.A. FOKIN*
A mathematical model for distributed information flows in virtual private network (VPN) to industrial enterprises.....106-114
- R.N. SHUL'GIN*
Ways and receptions of identification of violations of functioning in components of the computer network gas transmission company.....115-121

INFORMATION AND DATA SECURITY

- V.S. ATKINA*
The system of synthesis rational disaster recovery solutions projects for enterprise information systems.....122-130
- S.A. LAZAREV, P.P. SILAEV*
Aspects of implementation multifactor security user authentication subsystem in the network portals using digital device.....131-138
- K.A. MEGAEV*
Methods data flow control in enterprise portals by forming closed user group.....139-144
- A.B. SIZONENKO*
Model of linear recurrence of the shift register for a parallel implementation on graphics processors.....145-151
-

УДК 681.518.3

Н.И. КОРСУНОВ, А.А. НАЧЕТОВ

**КОНТРОЛЬ И КОРРЕКЦИЯ ОШИБОК УМНОЖЕНИЯ ЧИСЕЛ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ**

В данной статье предлагается метод обнаружения и коррекции ошибок умножения чисел инвариантный к длительности помехи. Приведен алгоритм реализации метода, основу которого составляет вычисление ошибки, приведенной ко входу одного из сомножителей; при этом корректирующее воздействие формируется по результатам автономного контроля двух умножений.

Ключевые слова: обнаружение ошибки; коррекция ошибки; помеха; отказоустойчивость; умножение.

Операция умножения чисел наиболее часто встречается в различных измерительных приборах, обработке данных в компьютерах. Надежность функционирования средств вычислительной техники во многом определяется стабильностью результатов преобразований информации и, в частности, умножения чисел. Стабильность выполнения арифметических операций обеспечивается информационными технологиями контроля выполнения команд преобразования информации, среди которых выделяют тестовые и функциональные методы контроля [1].

В данной статье рассматриваются функциональные методы контроля и коррекции ошибки умножения чисел, так как они не требуют остановки выполнения основного алгоритма при правильных результатах.

В отличие от методов контроля и коррекции ошибок при передаче данных при выполнении контроля выполнения преобразований информации заранее не известен результат преобразования и нельзя воспользоваться основным положением – несоответствию кода результата заданному полю чисел. Поэтому для контроля арифметических операций пользуемся арифметическими кодами, основанными на сравнении результата выполненной операции с результатом той же операции над контрольными кодами [2]. Это позволяет обнаружить ошибки выполнения операции, но не дает возможности ее коррекции, при этом помеха не должна оказывать влияние на умножение контрольных разрядов. Другим существенным недостатком контроля с использованием арифметических кодов является зависимость кратности обнаружения ошибки от выбранного метода контроля.

Известен метод обнаружения и коррекции ошибки в умножении чисел, лишенный указанных недостатков [3]. Метод основан на выполнении умножения $C_1 = A \cdot B_1$ и $C_2 = A \cdot B_2$ и использования этих значений при введении преобразований для получения значения сомножителя A с ошибкой, определяемой в функции ошибки ΔC_1 результата C_1 и сомножителя B . При этом считается, что воздействие помехи приводит к ошибкам как при вычислении C_1 , так и при вычислении C_2 . Это является существенным ограничением применимости метода к коррекции ошибок умножения при различной длительности воздействия помех.

Целью исследований, приводимых в статье, является обеспечение коррекции ошибки умножения независимо от длительности воздействия помехи.

Воздействие помехи при использовании для коррекции двух умножений основано на следующем разделении воздействия помехи:

Помеха воздействует как при первом умножении $C_1 = A \cdot B_1$ (1), так и при втором $C_2 = A \cdot B_2$ (2).

Помеха воздействует только при выполнении первого умножения $C_1 = A \cdot B_1$ и не воздействует на результат при втором умножении $C_2 = A \cdot B_2$.

Помеха воздействует только на результат второго умножения $C_2 = A \cdot B_2$ и не воздействует на $C_1 = A \cdot B_1$.

Исходя из приведенного деления воздействия помехи на результаты двух умножений при неизвестной длительности воздействия помехи, следует необходимость автономного контроля результата как первого, так и второго умножений. Действительно, пусть время умножения для получения C_1 (1) равно δ_1 , а для получения C_2 (2) равно δ_2 . Тогда длительность воздействия помех равна $\delta = \delta_1 + \delta_2$.

Так как используются линейные операторы, то в соответствии с теорией линейных операторов

$$C_1 = (C_1^* + \Delta C_1) = AB_1 + \alpha(AB) = AB_1 + \Delta AB. \quad (3)$$

Принимая $B_2 = B_1 + u$ по аналогии получаем:

$$C_2 = (C_2^* + \Delta C_2) = A(B + u) + \alpha A(B + u) = A(B + u) + \Delta A(B + u). \quad (4)$$

Пусть $u=1$, что приведет (4) к виду:

$$C_2 = (C_2^* + \Delta C_2) = AB + A(1 + \Delta A) + \Delta AB. \quad (5)$$

Пользуясь (3) и (5) получаем:

$$\delta C = C_2 - C_1 = A + \Delta A, \quad (6)$$

что при известном A позволяет получить значение ΔA и вычислить при известном B значение корректирующей поправки $\Delta C = \Delta A \cdot B$.

Пусть теперь помеха воздействует только в течение интервала δ_1 . Это приведет к тому, что:

$$\begin{aligned} C_1 &= (C_1^* + \Delta C_1) = AB_1 + \Delta AB, \\ C_2 &= C_2^* = AB_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Как и ранее, полагая $B_2 = B_1 + 1$, получаем:

$$\delta C = A - \Delta AB. \quad (8)$$

И теперь при известном значении A можно получить значение корректирующей поправки ΔC_1 .

Пусть теперь помеха воздействует только в интервале δ_2 при выполнении второго умножения. В этом случае:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_1^* = AB_1, \\ C_2 &= (C_2^* + \Delta C_2) = AB_2 + \Delta AB_2. \end{aligned}$$

А так как коррекции подлежит только результат C_1 основного, а не вспомогательного умножения, то корректирующая поправка $\Delta C=0$.

Следовательно, воздействие помехи на вычисление корректирующей ошибки в течение времени t можно представить условным выражением:

$$\Delta C = \begin{cases} \delta C - A, & \text{если } t \in (\tau_1 + \tau_2) \\ -\delta C, & \text{если } t \in (\tau_1) \\ 0, & \text{если } t \in (\tau_2) \end{cases}. \quad (9)$$

Ошибка является случайной величиной и временной интервал t , в котором она влияет на результат соответствующего умножения, также является случайным. Поэтому для округления, на какой из результатов умножения в цикле из двух умножений воздействует ошибка, необходимо автономно контролировать ошибки каждого из двух умножений. Пусть единичные значения логических сигналов S_1 и S_2 соответствуют возникновению ошибки при первом и втором умножениях, соответственно. Тогда условное выражение (9) можно представить как:

$$\Delta C = \begin{cases} \delta C - A, & \text{если } S_1 S_2 \\ -\delta C, & \text{если } \overline{S_1} \overline{S_2} \\ 0, & \text{если } \overline{S_1} S_2 \end{cases} \quad (10)$$

Для получения значений S_1 и S_2 можно воспользоваться контролем с использованием арифметических кодов.

При использовании арифметических кодов для автономного контроля двух умножений в предположении, что отсутствуют ошибки в получении свертки и умножении этих сверток, формируются:

$\overline{S_1}$ – при отсутствии ошибок в обоих умножениях;

$\overline{S_1} \overline{S_2}$ – при отсутствии ошибок во втором умножении;

$S_1 S_2$ – при наличии ошибок в обоих умножениях.

Алгоритм обнаружения и коррекции ошибок умножения чисел, инвариантный к длительности воздействия помех представлен на рисунке 1.

В отличие от известных методов контроля, предложенный способ и реализующий его алгоритм позволяет обнаруживать и корректировать ошибку умножения при любой ее кратности, так вычисляется отклонение от известного значения сомножителя и при этом округление результата не является существенным. Так как коррекция включается только при обнаружении ошибки, то введение контроля каждого из значений $C_1 = A \cdot B$ и $C_2 = A \cdot B_1$ автономно обнаруживает ошибку в выполнении каждого из произведений и не допускает неопределенности при возникновении ошибки в одном произведении, при возникновении ошибки в другом произведении, данный метод обеспечивает обнаружение и коррекцию ошибки умножения при любой длительности помехи и при возникновении ошибки как при первом или втором умножении, так и при ошибке в обоих результатах умножения.

При сравнении с известным методом повышения отказоустойчивости устройств умножения, основанном на использовании тройного дублирования, предложенный алгоритм обеспечивает более надежное функционирование устройства умножения чисел при искажении ошибкой как одного, так и обоих результатов умножения.

Действительно, при вычислении $C = A \cdot B$ тремя устройствами умножения, результаты которых обозначим C_1 , C_2 , C_3 , для выделения устройства с ошибочным результатом, используются правила логического вывода:

если $C_1 = C_2$ и если $C_1 \neq C_3$, то ошибка в вычислении C_3 ;

если $C_1 = C_3$ и если $C_1 \neq C_2$, то ошибка в вычислении C_2 ;

если $C_2 = C_3$ и если $C_1 \neq C_2$, то ошибка в вычислении C_1 ;

если $C_1 = C_2$ и $C_3 = C_2$, то ошибки нет.

Этот метод справедлив лишь в случае двух безошибочно работающих устройств, что эквивалентно при округлении ошибки, вызванной воздействием помехи только в течение интервала выполнения единственного умножения, либо ее воздействие только на единственное устройство умножения. Следовательно, при воздействии помехи на результат двух умножений данный метод приводит к неверному результату умножения.

Таким образом, приведение ошибки умножения чисел к значению отклонения одного из сомножителей при автономном контроле с использованием арифметических кодов

каждого из двух используемых умножений позволяет как обнаруживать ошибку любой кратности, так и корректировать результат умножения при любой длительности воздействия помехи.

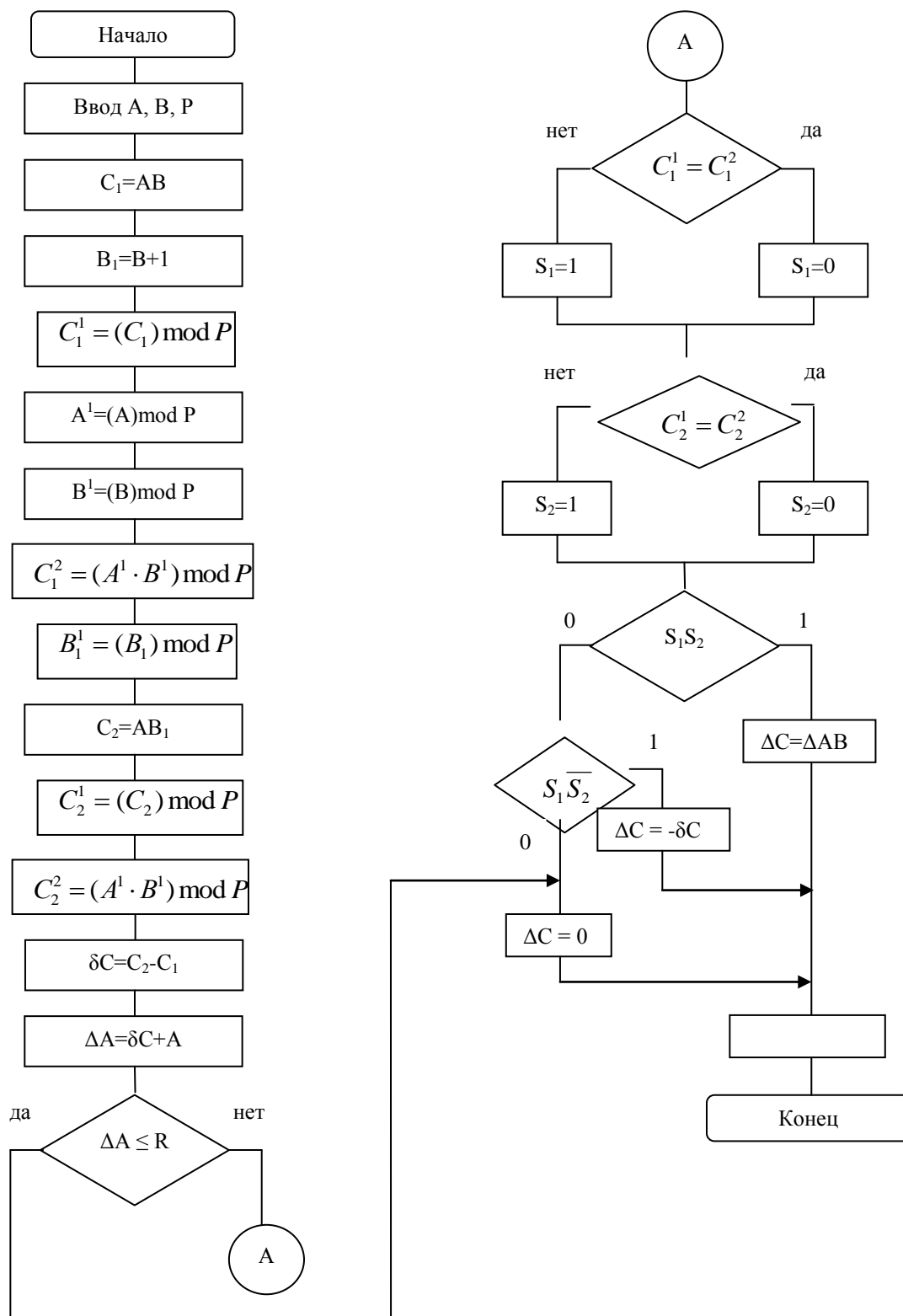


Рисунок 1 – Блок-схема умножения чисел с обнаружением и коррекцией ошибок

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярочкина Г.В. Радиоэлектронная аппаратура и приборы. – М.: ИРПО, 2002. – 240 с.

2. Луцк Ю.А. Арифметические и логические основы вычислительной техники. – Мн.: БГУИР, 2004. – 121 с.
3. Корсунов Н.И. Обнаружение и исправление ошибок при умножении чисел / Н.И. Корсунов, А.А. Начетов, А.В. Глушак // Научные ведомости БелГУ. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика». – № 7 (126), 2012. – Выпуск 22/1. – С. 111-116.

Корсунов Николай Иванович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: 8 (4722) 30-13-53
E-mail: korsunov@intbel.ru

Начетов Александр Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант
Тел.: 8 919 221 01 21
E-mail: aleksandr@nachetov.org.ua

N.I. KORSUNOV (*Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mathematics and Software Information Systems*)

A.A. NACHETOV (*Post-graduate Student*)
National Research University Belgorod State University, Belgorod

CONTROL AND CORRECTION OF ERRORS MULTIPLY NUMBERS DEPENDING ON THE LENGTH OF INTERFERENCE

In this paper we propose a method for detecting and correcting errors multiply numbers invariant to the duration of the interference. The algorithm implementation of the method, which is based on the calculation of the error, the input of one of the factors, and thus corrective action is formed as a result of autonomous control of two multiplications.

Keywords: *error detection; correction of error; omission; fault tolerance; multiplication.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Yarochkina G.V. Radioelektronnaya apparatura i pribory. – М.: IRPO 2002. – 240 с.
2. Lucik Yu.A. Arifmeticheskie i logicheskie osnovy vy'chislitel'noj texniki. – Мн.: БГУИР, 2004. – 121 с.
3. Korsunov N.I. Obnaruzhenie i ispravlenie oshibok pri umnozhenii chisel / N.I. Korsunov, A.A. Nachetov, A.V. Glushak // Nauchny'e vedomosti BelGU. Seriya «Istoriya. Politologiya. E'konomika. Informatika». – № 7(126), 2012. – Vy'pusk 22/1. – S. 111-116.

И.С. ПОЛЯНСКИЙ, И.И. БЕСЕДИН

АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

В статье разработан алгоритм решения задачи распределения неоднородных дискретных ограниченных ресурсов в системе физической защиты, представленной в виде двухуровневой иерархической системы. В рассматриваемой постановке задачи под неоднородным понимается разноэффективный ресурс. Сформированный алгоритм основан на нахождении градиентными релаксационными методами точки минимума сформированной целевой функции, определяющей критерий минимума моментов инерции. С целью совместного решения оптимизационной задачи введены ограничения на целочисленность переменных, определяющих величину потребляемого ресурса, заданные с помощью простых тригонометрических функций. Экспериментально определен наилучший с точки зрения вычислительных затрат градиентный метод решения поставленной оптимизационной задачи. Для представленного алгоритма проведена оценка скорости сходимости и вычислительной сложности, работоспособность проверена на конкретных примерах.

Ключевые слова: алгоритм; разнородный дискретный ограниченный ресурс; минимум моментов инерции; целочисленные ограничения.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из важных мест в области исследования операций занимает теория оптимального распределения ресурсов, элементы которой впервые были сформулированы для решения ряда экономических задач в 1939 году советским математиком, лауреатом Нобелевской премии по экономике Л.В. Канторовичем [1]. С этого момента в связи с бурным развитием численных методов, новых информационных технологий и средств вычислительной техники данное направление получило свое развитие в работах [2-6] и других, представляющих ряд методов и алгоритмов оптимального распределения ресурсов, основанных на итерационном решении линейных и нелинейных задач методами математического программирования. К существенному усложнению с точки зрения вычислительных затрат приводят зачастую возникающие на практике ограничения на целочисленность распределяемого в системах физической защиты ресурса (людского, материально-технического и др.) – дискретность и его неоднородность, т.е. разноэффективность согласно [4]. Подходы к распределению дискретных ресурсов рассмотрены в работах [3],[4], [7], [8] и других; по сути они сводятся к решению задачи методами дискретной оптимизации (ветвей и границ, генетический метод, метод отсечения Гомори и его модификации, псевдополиномиальные алгоритмы и др.), что с учетом неоднородности распределяемых ресурсов приводит к существенному увеличению вычислительных затрат, необходимых для поиска оптимального плана распределения ресурсов, и возникновению экспоненциальной или близкой к экспоненциальной зависимости времени работы алгоритма от объема входных данных.

Целью статьи является разработка полиномиального алгоритма распределения неоднородных дискретных ограниченных ресурсов в двухуровневой иерархической системе физической защиты.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Содержательная постановка задачи распределения ресурса в двухуровневой иерархической системе известна из [4], [6], [9] и других источников и заключается в назначении центром X максимально возможного количества выделяемого ресурса N

подсистемам с заданной величиной потребности i -й подсистемы P_i в ресурсе ($i = \overline{1, N}$). При этом возможности каждой из подсистем при потреблении выделяемого ей ресурса ограничиваются минимальным и максимальным объемами. С учетом неоднородности (разноэффективности) распределяемых M видов ресурса наряду с принятыми обозначениями определим вектор \vec{S} размерности M , j -е ($j = \overline{1, M}$), элементы которого характеризуют степень удовлетворения j -м видом ресурса потребности пункта потребления, причем объемы j -го ресурса ограничены величиной T_j . Геометрическая интерпретация задачи представлена на рисунке 1.

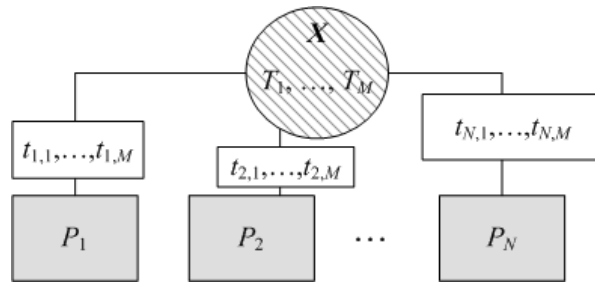


Рисунок 1 – Геометрия задачи распределения ресурсов

Обобщенная задача [6] определения оптимального плана распределения неоднородного ресурса $\hat{\mathbf{t}}$ записывается в виде многокритериальной оптимизации вида

$$\hat{\mathbf{t}} = \begin{pmatrix} \max \mathbf{t}_{1,1} & \dots & \max \mathbf{t}_{1,N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \max \mathbf{t}_{M,1} & \dots & \max \mathbf{t}_{M,N} \end{pmatrix} \quad (1)$$

с учетом ограничений на максимальный объем производства ресурса центром X

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{t}_{j,i} \leq T_j; \quad j = \overline{1, M} \quad (2)$$

и ограничений на максимальный $\mathbf{t}''_{j,i}$ и минимальный $\mathbf{t}'_{j,i}$ объем потребления выделяемого j -го ресурса i -м пунктом:

$$\mathbf{t}'_{j,i} \leq \mathbf{t}_{j,i} \leq \mathbf{t}''_{j,i}, \quad (3)$$

когда $\mathbf{t}_{j,i} \in \mathbb{Z}$ – целые числа.

В [4] отмечается предпочтительность решения задачи оптимального распределения ресурсов методами выпуклого программирования. Однако традиционное представление критерия оптимального распределения, сводящего задачу многокритериальной оптимизации (1) в однокритериальную в виде минимума невязок [2] между изменяемым значением (величиной потребляемого j -го ресурса i -м пунктом $\mathbf{t}_{j,i}$) и требуемым

$$f(\mathbf{t}) = \sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^M (\mathbf{t}_{j,i} \cdot S_j) - \sum_{j=1}^M (T_j \cdot S_j) \cdot P_i \right]^2 \rightarrow \min_{\mathbf{t}_{j,i} \in \mathbb{Z}} \quad (4)$$

с увеличением размерности матрицы переменных \mathbf{t} (т.е. увеличение видов распределяемых ресурсов и/или пунктов потребления) приводит к росту вычислительных затрат при решении задачи методами градиентной оптимизации первого порядка (градиентный спуск, наискорейший спуск, сопряженных градиентов Флетчера-Ривса, Положа-Райбера и др.). Повышение скорости сходимости алгоритма можно обеспечить применением квазиньютоновских методов (Ньютона, Ньютона-Рафсона, Марквардта, Левенберга-Марквардта и др.). Однако применение последних накладывает более жесткие требования на определение начальных приближений оптимизационного алгоритма, поскольку методы второго порядка являются менее устойчивыми, чем, например, методы сопряженных

градиентов, имеют тенденцию «застрывать» в локальных минимумах [11] и требуют больших вычислительных затрат на единичной итерации, связанных с необходимостью вычисления матрицы вторых производных (матрицы Гессе) и ее обращения (псевдообращения) [13]. Устранение указанного противоречия между высокой скоростью сходимости, достигаемой методами второго порядка, и устойчивостью, обеспечиваемой методами сопряженных градиентов, возможно за счет применения к указанному классу задач распределения ресурса критерия минимума моментов инерции [9]. Согласно представлениям, подробно описанным в [9], нелинейная целевая функция примет вид:

$$f(\mathbf{t}) = J(\mathbf{t})^2 \rightarrow \min, \quad \mathbf{t}_{j,i} \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

где $J(\mathbf{t})$ – сумма моментов инерции формируемой системы материальных точек, величина которой определяется отношением [10]

$$J(\mathbf{t}) = \sum_{1 \leq i < k \leq N} m_i(\mathbf{t}) \cdot m_k(\mathbf{t}) \cdot r_{i,k}^2. \quad (6)$$

В выражении (6) $r_{i,k}$ – расстояние между i -й и k -й ($i, k = \overline{1, N}$) вершинами N -мерного многогранника, координаты которого записываются в Евклидовом пространстве E^{N-1} ;

$m_i(\mathbf{t}) = \left[\sum_{j=1}^M (\mathbf{t}_{j,i} \cdot S_j) - \sum_{j=1}^M (T_j \cdot S_j) \cdot P_i \right]$ – определяет массу i -й материальной точки (вершина многогранника). Поскольку из условия, представленного в [9], многогранник является регулярным, то $r_{i,k} = const$.

С учетом требований к целочисленности переменных $\mathbf{t}_{j,i} \in \mathbb{Z}$ для снижения количества предположений на этапе итерационного поиска оптимального плана распределения дискретных ресурсов (по сравнению с алгоритмами, представленными в [2], [4], [7], [8]) в поставленную условную оптимизационную задачу (5) введем дополнительные целочисленные ограничения, записанные с помощью элементарных тригонометрических функций, к примеру:

$$\sin(\pi \cdot \mathbf{t}_{i,j}) = 0; \quad \mathbf{t}_{j,i} \in \mathbb{R}. \quad (7)$$

Применение подобных ограничений (7) позволяет изменить класс оптимизационной задачи (5) с дискретной (целочисленной) на нелинейную (нецелочисленную) и преобразовать NP -полную задачу к полиномиальной [12].

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Поиск минимума целевой функции (5) с учетом ограничений (2), (3) и (7) производится путем сведения задачи условной минимизации к решению последовательности задач поиска безусловного минимума вспомогательной функции [11]:

$$F(\mathbf{t}, C_k) = f(\mathbf{t}) + P(\mathbf{t}, C_k) \rightarrow \min, \quad \mathbf{t}_{j,i} \in \mathbb{R} \quad (8)$$

где $P(\mathbf{t}, C_k)$ – штрафная функция, C_k – параметр штрафа, задаваемый на каждой k -й итерации. Штрафная функция конструируется, исходя из условия [11]:

$$P(\mathbf{t}, C_k) = \begin{cases} 0, & \text{при выполнении ограничений,} \\ > 0, & \text{при невыполнении ограничений.} \end{cases} \quad (9)$$

В рассматриваемой постановке задачи с ограничениями типа неравенств (2), (3) и равенств (7) функция штрафа представляется суммой:

$$P(\mathbf{t}, C_k) = C_k \cdot [g1(\mathbf{t}) + g2(\mathbf{t}) + g3(\mathbf{t}) + G(\mathbf{t})], \quad (10)$$

где функции $g1(\mathbf{t})$ и совокупность $g2(\mathbf{t}), g3(\mathbf{t})$ определяют ограничения (2) и (3) и представляются в виде суммы штрафных функций типа квадрат срезки:

$$\begin{aligned}
 g1(\mathbf{t}) &= \sum_{j=1}^M \left[\max \left(0, \sum_{i=1}^N \mathbf{t}_{j,i} - T_j \right)^2 \right]; \\
 g2(\mathbf{t}) &= \sum_{j=1}^M \left[\max \left(0, \mathbf{t}'_{j,i} - \mathbf{t}_{j,i} \right)^2 \right]; \\
 g3(\mathbf{t}) &= \sum_{j=1}^M \left[\max \left(0, \mathbf{t}_{j,i} - \mathbf{t}''_{j,i} \right)^2 \right].
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

В выражении (10) функция $G(\mathbf{t})$ отражает ограничения на целочисленность переменных (7) и задается в виде суммы барьерных функций:

$$G(\mathbf{t}) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N \sin(\pi \cdot \mathbf{t}_{j,i})^2.
 \tag{12}$$

На каждой k -й итерации осуществляется поиск искомой точки с координатами $\{\mathbf{t}^*\}$, доставляющей минимум вспомогательной функции (8) при заданном параметре штрафа C_k , используя метод сопряженных градиентов с переменной метрикой Дэвидона-Флетчера-Пауэлла (предпочтительность выбора указанного метода будет рассмотрена ниже), стратегия которого состоит в построении последовательности точек \mathbf{t}^p , $p=0,1,\dots$, таких, что $F(\mathbf{t}^{p+1}, C_k) < F(\mathbf{t}^p, C_k)$, и подробно рассмотрена в [11].

Полученная точка $\{\mathbf{t}^*\}$, соответствующая заданному параметру штрафа C_k , используется в качестве начальной на следующей $(k+1)$ -й итерации, выполняемой при возрастающем значении параметра штрафа $C_{k+1} = C_k \cdot 10$. Построение итеративной последовательности k заканчивается в случае выполнения условия для рассчитанной точки $\{\mathbf{t}^* \approx \hat{\mathbf{t}}\}$:

$$P(\mathbf{t}^*, 1) \leq \varepsilon,
 \tag{13}$$

где ε задает погрешность вычисления для ограничений (2), (3) и (7).

Начальные приближения переменных $(\mathbf{t}_{j,i})^0$ выбираются в соответствии с правилом:

$$(\mathbf{t}_{j,i})^0 = P_i \cdot T_j.
 \tag{14}$$

Для минимизации функции (8) на каждой k -й итерации методом Дэвидона-Флетчера-Пауэлла необходимо вычислить вектор производных по переменным $\mathbf{t}_{j,i}$. Для этого определим аналитический дифференциал скалярной функции (18) от аргумента $\mathbf{t}_{j,i}$:

$$\frac{\partial F(\mathbf{t}, C_k)}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} = \frac{\partial f(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} + \frac{\partial P(\mathbf{t}, C_k)}{\partial \mathbf{t}_{j,i}},
 \tag{15}$$

где

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial P(\mathbf{t}, C_k)}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} &= C_k \cdot \left[\frac{\partial g1(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} + \frac{\partial g2(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} + \frac{\partial g3(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} + \frac{\partial G(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} \right]; \\
 \frac{\partial g1(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} &= 2 \cdot \max \left(0, \sum_{i=1}^N \mathbf{t}_{j,i} - T_j \right); \\
 \frac{\partial g2(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} &= -2 \cdot \max \left(0, \mathbf{t}'_{j,i} - \mathbf{t}_{j,i} \right); \\
 \frac{\partial g3(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} &= 2 \cdot \max \left(0, \mathbf{t}_{j,i} - \mathbf{t}''_{j,i} \right);
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

$$\frac{\partial G(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} = 2 \cdot \pi \cdot \cos(\pi \cdot \mathbf{t}_{j,i}) \cdot \sin(\pi \cdot \mathbf{t}_{j,i}).$$

В выражении (15) аналитический дифференциал функции $f(\mathbf{t})$ от аргумента $\mathbf{t}_{j,i}$ определяется отношением

$$\frac{\partial f(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} = 2 \cdot J(\mathbf{t}) \cdot \frac{\partial J(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}}, \quad (17)$$

где

$$\frac{\partial J(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} = \sum_{\substack{1 \leq s < k \leq N; \\ s=i}} \frac{\partial m_s(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} \cdot m_k(\mathbf{t}) \cdot r_{s,k}^2 + \sum_{\substack{1 \leq s < k \leq N; \\ k=i}} m_s(\mathbf{t}) \cdot \frac{\partial m_k(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} \cdot r_{s,k}^2; \quad (18)$$

$$\frac{\partial m_s(\mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}_{j,i}} = \begin{cases} S_j, & \text{если } s=i; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотрим результат работы описанного алгоритма, реализованного в MathCAD 14, при оптимальном распределении разноэффективного ресурса в следующей постановке задачи.

Исходные данные. Имеется $N = 10$ охраняемых объектов и $M = 3$ видов технических средств охраны (распределяемого ресурса): детекторы движения, видеокамеры, датчики разбития стекла. Максимально допустимые объемы суммарного ресурса и коэффициенты удовлетворения j -м видом ресурса потребности пункта потребления заданы векторами $\vec{T} = (22; 15; 33)$ и $\vec{S} = (0,318; 0,5; 0,182)$. Вектор потребности i -й подсистемы в ресурсе (степень важности i -го объекта охраны) определен как $\vec{P} = (0,092; 0,138; 0,23; 0,046; 0,092; 0,097; 0,161; 0,032; 0,046; 0,065)$.

Ограничения на максимально и минимально допустимые объемы потребления ресурса изначально заданы следующими матрицами:

$$\mathbf{t}' = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ и } \mathbf{t}'' = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 & 6 \end{pmatrix} \text{ соответственно.}$$

В результате работы разработанного алгоритма оптимальный план распределения технических средств охраны по охраняемым объектам (пункты потребления ресурсов)

определен матрицей $\hat{\mathbf{t}} = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 5 & 1 & 2 & 2 & 5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 1 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 3 & 5 & 6 & 2 & 3 & 3 & 5 & 1 & 2 & 2 \end{pmatrix}$, значение целевой функции (5) $f(\hat{\mathbf{t}}) \approx 0,018$.

В рамках анализа вычислительной сложности и скорости сходимости разработанного алгоритма оптимального распределения неоднородного дискретного ограниченного ресурса выполнено: 1) сравнение скорости сходимости разработанного алгоритма с линейной, геометрической, сверхлинейной и квадратичной скоростями сходимости; 2) определена зависимость числа итераций решения оптимизационной задачи (8) от оптимизационного градиентного метода; 3) оценка зависимости времени работы алгоритма $t_{\text{раб}}$ алгоритма от размера входных данных N – число пунктов потребления (при $M = 3$).

Поскольку в основе разработанного алгоритма лежат численные градиентные релаксационные методы, определяющие последовательность приближения $\{\mathbf{t}^k\}$ $k = \overline{1, K}$, то согласно [11] говорят о следующей их скорости сходимости при соответствующих условиях [13]:

линейной

$$\exists \alpha \in [0,1]: \exists K \in \mathbb{N}, \forall k \geq K \left\| \mathbf{t}^k - \hat{\mathbf{t}} \right\| \leq \alpha \cdot \left\| \mathbf{t}^{k-1} - \hat{\mathbf{t}} \right\|; \quad (19)$$

геометрической

$$\exists \alpha < 1: \exists K \in \mathbb{N}, \forall k \geq K \left\| \mathbf{t}^k - \hat{\mathbf{t}} \right\| \leq \alpha^k \cdot \left\| \mathbf{t}^{k-1} - \hat{\mathbf{t}} \right\|; \quad (20)$$

сверхлинейной

$$\left\| \mathbf{t}^k - \hat{\mathbf{t}} \right\| \leq \alpha_k \cdot \left\| \mathbf{t}^{k-1} - \hat{\mathbf{t}} \right\|, \quad (21)$$

где $\alpha_k \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$;
квадратичной

$$\exists \alpha > 0: \exists K \in \mathbb{N}, \forall k \geq K \left\| \mathbf{t}^k - \hat{\mathbf{t}} \right\| \leq \alpha \cdot \left\| \mathbf{t}^{k-1} - \hat{\mathbf{t}} \right\|^2. \quad (22)$$

В результате оценки зависимости величины левых и правых частей неравенств (19), (20) от числа итераций K для исходных данных, удовлетворяющих представленному примеру, получен график, представленный на рисунке 2.

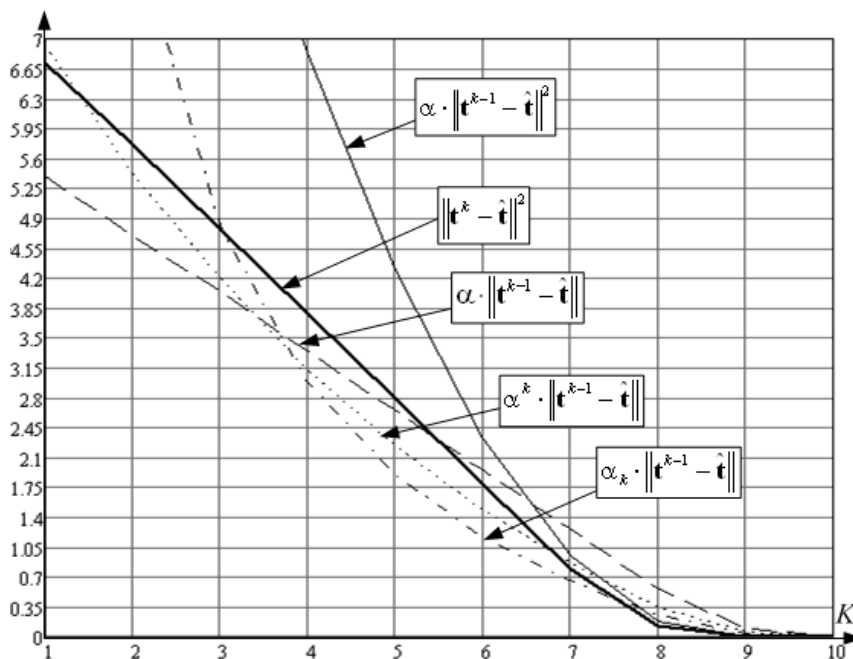


Рисунок 2 – Скорость сходимости разработанного алгоритма и линейная, геометрическая, сверхлинейная и квадратичная скорости сходимости

Из полученных результатов (рис. 2) можно сделать вывод о квадратичной скорости сходимости (следует из выполнения условия (22) для $\forall k$).

На этапе выбора градиентного метода экспериментально выполнено сравнение количества итераций решения оптимизационной задачи (8) от выбора градиентного метода с учетом изменения размерности входных данных N – число пунктов потребления (при $M = 3$). При этом решение оптимизационной задачи (8) производилось такими градиентными релаксационными методами, как: 1) наискорейший спуск [13]; 2) Флетчера-Ривса [11]; 3) Полока-Райбера [11]; 4) Дэвидона-Флетчера-Пауэлла [11]; 5) Ньютона [13]; 6) Ньютона-Рафсона [13]; 7) методом оптимизации второго порядка, определяющего наискорейший спуск [14, стр. 487]; 8) методом сопряженных градиентов для решения системы нелинейных уравнений (второго порядка), предложенным проф. Савиновым [15]. Предельное число итераций задано равным 200. В результате оценки получен график зависимости выборочной средней числа итераций решения оптимизационной задачи (8) от размерности входных данных N при $M = 3$, представленный на рисунке 3.

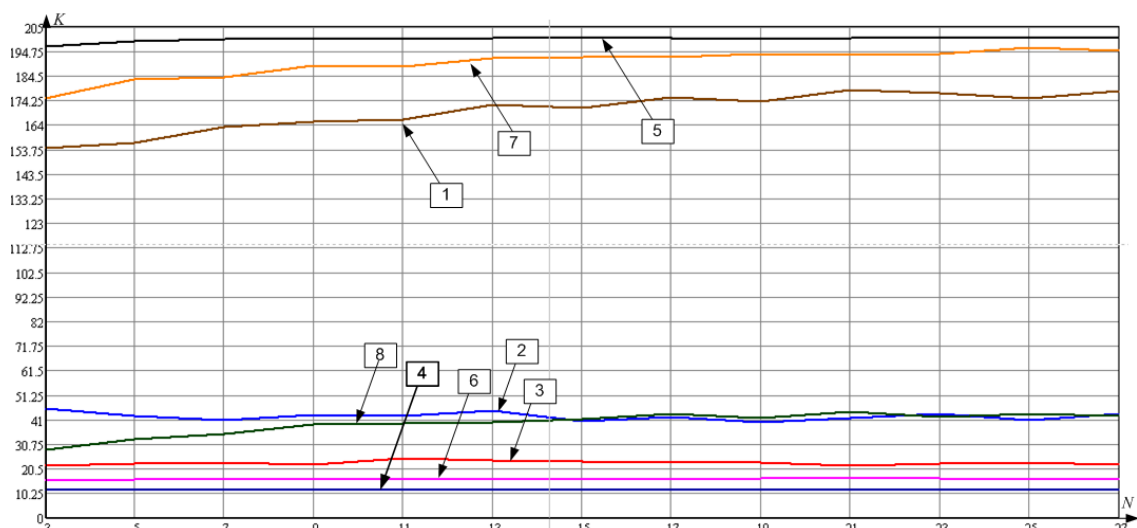


Рисунок 3 – Линии регрессии, отражающие зависимость числа итераций решения оптимизационной задачи (8) от размерности входных данных (числа указывают на вышеперечисленные оптимизационные методы)

Из полученных результатов следует, что наиболее предпочтительным с точки зрения минимизации вычислительных затрат для решения сформированной оптимизационной задачи (8) является метод Дэвидона-Флетчера-Пауэлла.

Вычислительная сложность разработанного алгоритма определена посредством «Оценки», асимптотически определяющей верхнюю границу времени работы алгоритма $t_{\text{раб}}$ алгоритма от размера входных данных, т.е. определяет «сложность в наихудшем случае» [12]. Определение вычислительной сложности по «Оценке» производилось путем проведения ряда вычислительных экспериментов для погрешности вычислений $\varepsilon = 10^{-10}$ на ЭВМ с характеристиками: Intel(R) Xeon(TM) CPU 3.60 GHz, 3.60 GHz; 2 Gb ОЗУ; жесткий диск 200 Gb. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

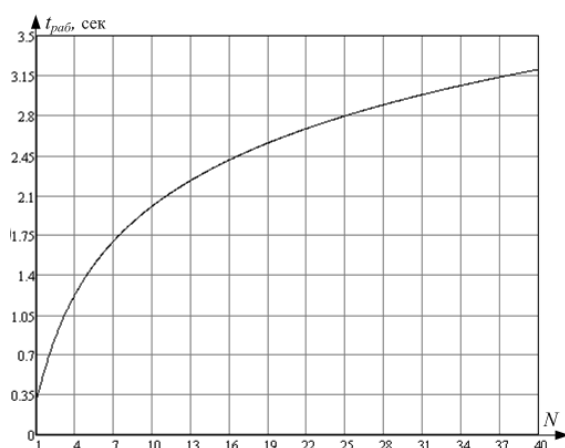


Рисунок 4 – Вычислительная сложность разработанного алгоритма на «худший случай»

Из результатов вычислительного эксперимента (рис. 4) следует квазилинейная зависимость времени вычислений (работы алгоритма) от объема входных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм распределения ограниченных неоднородных дискретных ресурсов в двухуровневой иерархической системе позволяет с заданной погрешностью

вычисления за полиномиальное время (рис. 4) определить искомый оптимальный план потребления ресурсов. Применение представленных в статье ограничений на целочисленность переменных в виде простых тригонометрических функций (7) в классе подобных задач позволяет осуществить преобразование целочисленной (дискретной) постановки в общую задачу нелинейного программирования. Используемое решение по критерию минимума моментов инерции позволяет повысить скорость сходимости градиентных методов первого порядка (рис. 2, 3). Таким образом, обеспечивается очевидная предпочтительность их применение по сравнению с методами второго порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. – Л.: Изд. ЛГУ, 1939.
2. Гурин Л.С. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов / Л.С. Гурин, Я.С. Дымарский, А.Д. Меркулов. – М.: «Сов. радио», 1968. – 463 с.
3. Фиакко А., Мак-Кормик. Нелинейное программирование (методы последовательной безусловной минимизации). – М.: Мир, 1972. – 240 с.
4. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементов синтеза систем / под ред. Е.В. Золоторева. – М.: «Сов. радио», 1974. – 304 с.
5. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и теории игр / под ред. Е.В. Золоторева. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.
6. Батищев Д.И., Громницкий В.С. Распределение ограниченных ресурсов по принципу гарантированного результата // В кн. кибернетика и вуз: межвузовский сборник. – Томск: Изд. ТЛИ, 1982. – Вып. 17. – С. 98-106.
7. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
8. Сигал И.З., Иванов А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 237 с.
9. Архипов Н.С. Алгоритм распределения однородных непрерывных ограниченных ресурсов на основе решения задачи условной оптимизации по критерию минимума моментов инерции / Н.С. Архипов, И.С. Полянский, В.А. Хомаза // Телекоммуникации, 2011. – № 11. – С. 8-13.
10. Балк М.Б., Болтянский В.Г. Геометрия масс. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 160 с.
11. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход / пер. с англ. Ф.И. Ерешко; под ред. И.А. Вателя. – М.: Мир, 1974. – 376 с.
12. Michael R. Garey. Computer and intractability: a guide to the theory of NP-completeness, 1979. – 175 p.
13. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Бином, 2003. – 630 с.
14. Хаусхолдер А.С. Основы численного анализа // ИЛ, 1956. – 320 с.
15. Савинов Г.В. Метод сопряженных градиентов для решения системы нелинейных уравнений // Зап. научн. сем. ЛОМИ, 1977. – № 70. – С. 178-183.

Полянский Иван Сергеевич

Академия ФСО России, г. Орел
Кандидат технических наук, научный сотрудник
Тел.: 8 953 618 71 00
E-mail: van341@mail.ru

Беседин Иван Игоревич

Академия ФСО России, г. Орел
Научный сотрудник
Тел.: 8 910 200 75 09
E-mail: bes575757@mail.ru

I.S. POLYANSKIY (Candidate of Engineering Sciences, Research Associate)

I.I. BESEDIN (Research Associate)

Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

THE ALGORITHM OF DISTRIBUTION INHOMOGENEOUS DIGITAL LIMITED RESOURCES IN PHYSICAL PROTECTION SYSTEM

*The paper developed an algorithm for solving the discrete inhomogeneous distribution of scarce resources in the physical protection system, represented as a two-level hierarchical system. In this formulation of the problem is understood by non-uniform *raznoeffektivny* resource. Formed algorithm is based on finding the gradient relaxation methods minimum point of the objective function formed by defining criterion of a minimum moment of inertia. In order to solve the optimization problem of joint restrictions on the integer variables that determine the amount of resources consumed, given by simple trigonometric functions. Experimentally determined the best in terms of computational cost gradient method of solving the optimization problem. For the presented algorithm, the rate of convergence and computational complexity, performance tested for specific examples.*

Keywords: *algorithm; mixed discrete limited resource; the minimum moment of inertia; integer constraints.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Kantonovich L.V. *Matematicheskie metody' organizacii i planirovaniya proizvodstva*. – L.: Izd. LGU, 1939.
2. Gurin L.S. *Zadachi i metody' optimal'nogo raspredeleniya resursov* / L.S. Gurin, Ya.S. Dy'marskij, A.D. Merkulov. – M.: «Sov. radio», 1968. – 463 s.
3. Fiakko A., Мак-Кормик. *Nelinejnoe programmirovaniye (metody' posledovatel'noj bezuslovnoj minimizacii)*. – M.: Mir, 1972. – 240 s.
4. Berzin E.A. *Optimal'noe raspredeleniye resursov i e'lementov sinteza sistem* / pod red. E.V. Zolotoryova. – M.: «Sov. radio», 1974. – 304 s.
5. Berzin E.A. *Optimal'noe raspredeleniye resursov i teorii igr* / pod red. E.V. Zolotoryova. – M.: Radio i svyaz', 1983. – 216 s.
6. Batishev D.I., Gromnickij V.S. *Raspredeleniye ogranichenny'x resursov po principu garantirovannogo rezul'tata* // V kn. kibernetika i vuz: mezhvuzovskij sbornik. – Tomsk: Izd. TLI, 1982. – Vy'p. 17. – S. 98-106.
7. Korbut A.A., Finkel'shtejn Yu.Yu. *Disketnoe programmirovaniye*. – M.: Nauka, 1969. – 368 s.
8. Sigal I.Z., Ivanov A.P. *Vvedeniye v prikladnoye diskretnoye programmirovaniye: modeli i vy'chislitel'ny'e algoritmy'*. – M.: FIZMATLIT, 2002. – 237 s.
9. Arxipov N.S. *Algoritm raspredeleniya odnorodny'x nepreryvny'x ogranichenny'x resursov na osnove resheniya zadachi uslovnoj optimizacii po kriteriyu minimuma momentov inercii* / N.S. Arxipov, I.S. Polyanskiy, V.A. Xomaza // Telekommunikacii, 2011. – № 11. – S. 8-13.
10. Balk M.B., Boltyanskiy V.G. *Geometriya mass*. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1987. – 160 s.
11. Polak E'. *Chislenny'e metody' optimizacii. Ediny'j podxod* / per. s angl. F.I. Ereshko; pod red. I.A. Vatelya. – M.: Mir, 1974. – 376 s.
12. Michael R. Garey. *Computer and intractability: a guide to the theory of NP-completeness*, 1979. – 175 p.
13. Baxvalov N.S. *Chislenny'e metody'* / N.S. Baxvalov, N.P. Zhidkov, G.M. Kobel'kov. – M.: Binom, 2003. – 630 s.
14. Xausxolder A.S. *Osnvy' chislennogo analiza* // IL, 1956. – 320 s.
15. Savinov G.V. *Metod sopryazhyonny'x gradientov dlya resheniya sistemy' nelinejny'x uravnenij* // Zap. nauchn. sem. LOMI, 1977. – № 70. – S. 178-183.

УДК 004.057.4

А.В. ЕРЕМЕНКО

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВНУТРИПРОТОКОЛЬНЫХ ПРЕРЫВАНИЙ ПРОЦЕССОВ
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ**

В статье рассматривается процесс информационного обмена в среде промышленных сетей с учетом взаимодействия протокольных объектов.

Ключевые слова: внутрипротокольные прерывания; процесс информационного обмена; промышленные сети.

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель построения распределенных систем автоматизации – удешевление и упрощение технологий и менеджмента производства и эксплуатации конечной системы за счет обеспечения технологии сквозного сетевого доступа: от мощных супервизорных компьютеров и многофункциональных контроллеров до интеллектуальных пассивных элементов (датчики, регуляторы и т.п.). При этом такая связь должна удовлетворять всем современным требованиям по функциональности, надежности и открытости. Коммуникационная технология построения единой информационной сети, объединяющей интеллектуальные контроллеры, датчики и исполнительные механизмы, определяется одним термином *fieldbus* (полевая шина или промышленная сеть) [1]. Таким образом, промышленная сеть – сеть передачи данных, связывающая различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры, и используемая в промышленной автоматизации. Термин употребляется преимущественно в автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП). Описывается стандартом IEC 61158.

Тенденция комплексной автоматизации опирается и на растущую потребность в использовании производственных данных в бизнес-процессах, бухгалтерском учете, системах планирования и управления ресурсами предприятий (ERP) и взаимодействия с заказчиками (CRM), программах инвентаризации. Современные АСУП используют для коммуникаций сети Ethernet и протоколы TCP/IP, а информационные системы — технологии Internet. Неудивительно, что в последнее время предпринимаются активные попытки внедрить Ethernet на цеховом уровне, задействовать привычные сетевые протоколы для интеграции АСУП и АСУ ТП, преодолеть технологические барьеры, возникшие в результате их независимого развития. В частности, внедрение Ethernet на уровне промышленных систем позволяет предприятиям передавать собираемую информацию на уровень АСУП для применения в различных приложениях. К тому же, Ethernet – самая популярная сетевая технология. С ее помощью разработчики надеются создать единую коммуникационную инфраструктуру предприятия, распространить на системы промышленной автоматизации такие преимущества Ethernet, как простота интеграции с Internet, возможность включения в сеть самых разнообразных устройств и централизованного управления ими. Большой рынок поддерживающих Ethernet устройств и компонентов, массовое производство подобных продуктов гарантирует их достаточно низкую стоимость. Унификация Ethernet как единой сетевой технологии ведет к сокращению расходов, в том числе, на обучение специалистов и обслуживание систем [2].

Широкое применение нашел Industrial Ethernet (промышленный Ethernet) – стандартизованный (IEEE 802.3 и 802.11) вариант Ethernet для применения в промышленности. Сеть с процедурой доступа CSMA/CD. Industrial Ethernet обычно

используется для обмена данными между программируемыми контроллерами и системами человеко-машинного интерфейса, реже для обмена данными между контроллерами и незначительно для подключения к контроллерам удаленного оборудования (датчиков и исполнительных устройств).

Проблемам информационного обмена в интегрированной информационной среде промышленных предприятий посвящен целый ряд работ [3-12]. Однако за рамками их рассмотрения остаются вопросы взаимодействия протокольных объектов.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Имеются два узла сети, между которыми устанавливается соединение. Транспортный уровень данного соединения обеспечивает протокол ТСР или модернизированный протокол ТСР. Необходимо смоделировать работу двух узлов сети, которые работают в одном случае с протоколом ТСР, а в другом – с модернизированным протоколом ТСР.

Целью моделирования является определение эффективности работы данных протоколов при возникновении внутрипротокольных прерываний. Внутрипротокольные прерывания – это прерывания, возникающие на этапе установления соединения или передачи данных, вызванные сбоем в работе радиоэлектронных средств внутри протокола, обеспечивающих взаимодействие между протокольными объектами.

Для уточнения задачи моделирования кратко сформулируем основные принципы работы данных протоколов.

Протокол ТСР работает по описанному выше алгоритму и проходит следующие основные этапы:

- установление соединения;
- передача информационных кадров одного пакета;
- в случае возникновения внутрипротокольных прерываний происходит моментальное восстановление разорванного соединения и происходит повторная передача всего пакета с самого начала (возврат к этапу 1).

Модernизированный протокол ТСР – при передаче одного пакета выполняются следующие действия:

- установление соединения;
- передача информационных кадров одного пакета;
- в случае возникновения внутрипротокольных прерываний происходит:
- процесс установления номера кадра, который последним пришёл получателю;
- процесс поиска кадра, следующего за последним переданным;
- возврат к действию 1 и передача данных с номера кадра, найденного на предыдущем шаге.

АНАЛИЗ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Применительно к моделированию рассматриваемый процесс передачи данных представляет собой систему массового обслуживания, которая характеризуется:

блоком обслуживания (в нашем случае – среда передачи данных);

неограниченным источником заявок (пакетов);

конечным получателем заявок;

сложным алгоритмом перемещения заявок.

Принимая во внимание перечисленные характеристики, а также неравномерный характер поступления заявок и неравномерность распределения времени обслуживания, можно сделать вывод о том, что данный объект моделирования представляет собой довольно сложную систему. Используя теорию массового обслуживания, затруднительно получить в явном виде искомые характеристики без упрощения модели. Поэтому будем ориентироваться на использование имитационного подхода.

Важным моментом является выбор критериев оценки процесса функционирования системы, выделение эндогенных и экзогенных переменных модели.

В качестве критерия оценки эффективности функционирования рассматриваемой системы было выбрано распределение случайной величины – среднее значение коэффициента внутрипротокольных прерываний.

В качестве эндогенных (зависимых) переменных можно рассматривать время, необходимое для передачи одного пакета данных. В качестве экзогенных (независимых) переменных выберем величину пропускной способности канала передачи данных, а также распределение величины возникновения внутрипротокольных прерываний.

Для упрощения построения модели за единицу модельного времени выберем величину, равную скорости передачи данных по каналу, а размер пакета будет измеряться в единицах, кратных величине скорости передачи данных. Таким образом, за единицу модельного времени по каналу передачи данных передаётся одна единица размерности пакета.

ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В качестве инструмента моделирования был выбран язык программирования Delphi с использованием модуля SMPL, имеющего набор средств для построения модели и сбора статистической информации. SMPL – Simulation Modeling Program Language. Это система моделирования, ориентированная на события. Изменение времени в процессе моделирования происходит скачком при переходе от текущего события к следующему.

Основным преимуществом такого подхода является то, что он позволяет использовать всю мощь и гибкость стандартного языка программирования по сравнению с другими существующими программными продуктами для моделирования.

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В ходе построения моделей были реализованы две независимые программы, выполняющие имитацию двух протоколов передачи данных. Внешний вид одной из них показан на рисунке 1.

В ходе выполнения программы моделируется 48000 единиц модельного времени. За это время генерируются пакеты со случайной длиной, которая распределена по нормальному закону. Вероятность возникновения внутрипротокольных прерываний равна 10%.

После прогона модели в колонке слева отражаются пакеты в порядке их поступления и суммарное время, которое было затрачено на передачу пакета с учётом дополнительного времени, потребовавшегося в результате возникновения внутрипротокольного прерывания (такие пакеты помечены буквой «O»).

На первом (красном) графике по оси X отражен номер пакета, по оси Y – суммарное время, затраченное на передачу i-ого пакета. На втором (зелёном) графике по оси X отражен тот же номер пакета, по оси Y – значение коэффициента возникновения внутрипротокольных прерываний, показывающее отношение фактически затраченного времени на передачу пакета к времени, за которое этот пакет был передан. Если коэффициент равен 1, то ошибок при передаче не возникало, если коэффициент больше 1, следовательно, возникла ошибка и его значение показывает, во сколько раз больше потребовалось времени, чем это планировалось. Синяя линия показывает среднее значение коэффициента возникновения внутрипротокольных прерываний, которая и является критерием оценки эффективности работы протокола.

В результате работы моделей было получено два графика, представленных на рисунках 2 и 3.

Из полученных графиков видно, что среднее значение коэффициента возникновения внутрипротокольных прерываний на первом графике расположилось на отметке 1,71. Среднее значение этого же коэффициента на втором графике равно 1,28. Полученные в

результате моделирования данные свидетельствуют о том, что при величине вероятности выпадения внутрипротокольных прерываний, равной 10%, модернизированный протокол TCP работает эффективнее, чем стандартный протокол передачи данных TCP.

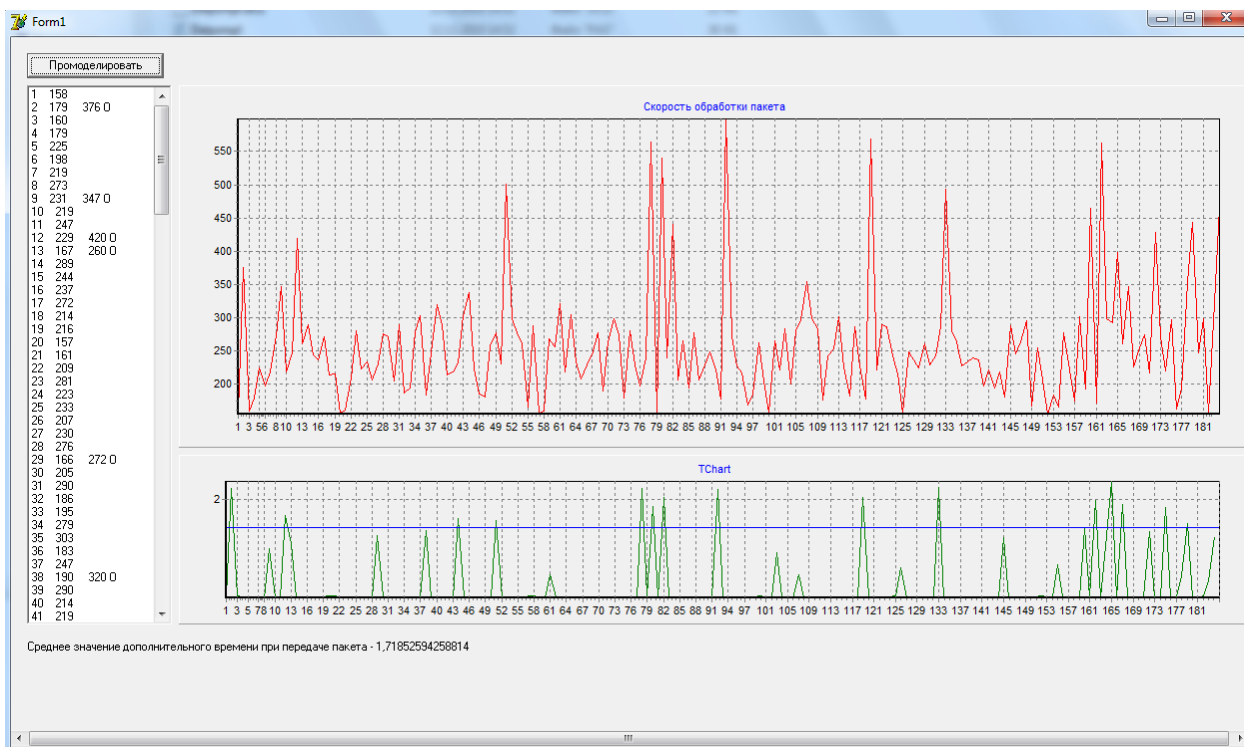


Рисунок 1 – Внешний вид программы-модели

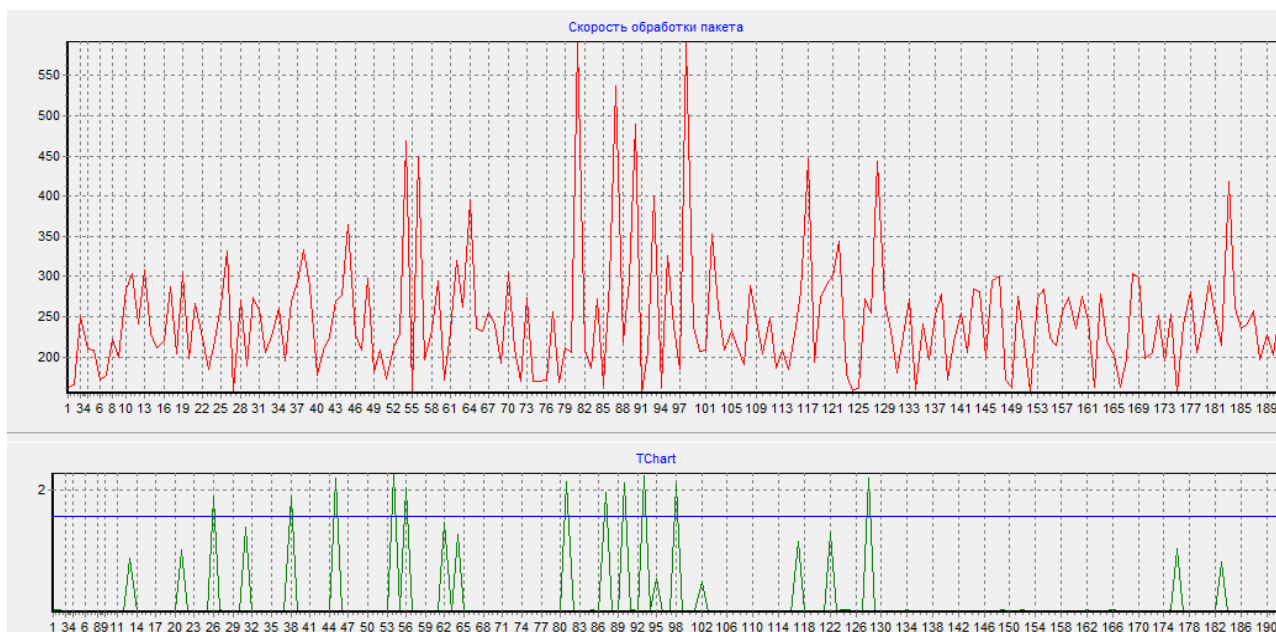


Рисунок 2 – График работы протокола TCP

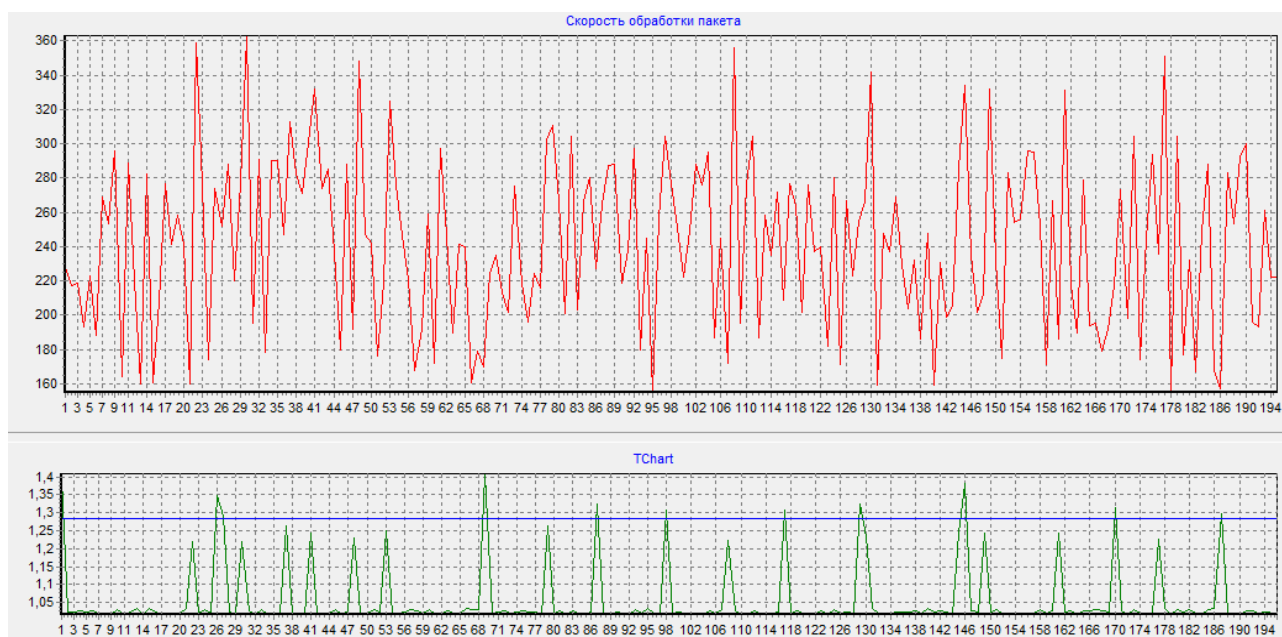


Рисунок 3 – График работы модернизированного протокола TCP

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

TCP – протокол, ориентированный на поток. Это означает, что данные представляются прикладной программой для TCP как поток символов. Каждый байт данных имеет позицию в потоке. Однако имеются случаи (например, внепротокольные прерывания), в которых прикладной программе нужно послать срочный байт. Это означает, что передающая прикладная программа хочет передать вне очереди квант данных приемной программе. Предположим, что передающая прикладная программа посылает данные, обрабатываемые приемной программой. Когда обратно поступит результат обработки, передающая прикладная программа может обнаружить серьезные нарушения. Она захочет прервать процесс, но к этому моменту уже послано огромное количество данных. Если дать команду остановки процесса (Control + C), эти два символа будут накоплены в буфере TCP приемного конца и эта команда будет доставлена к приемной программе после того, как все эти данные будут обработаны, то есть слишком поздно.

Техническое решение – послать сегмент с установленным битом URG. Передающая прикладная программа, таким образом, сообщит передающему TCP, что квант данных – срочный. Передающий TCP создаст сегмент и вставит срочные данные в начало сегмента. Остальной сегмент может содержать нормальные данные из буфера. Поле указателя срочности в заголовке определяет конец срочных данных и начало нормальных данных.

Когда принимающий TCP получает сегмент с установленным битом URG, он извлекает срочные данные из сегмента, используя значение указателя срочности, и доставляет их вне очереди к приемной прикладной программе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любашин А.Н. Промышленные сети [Электронный ресурс]. – URL: <http://asutp.ru/?p=600353>.
2. Ethernet в системах промышленной автоматизации [Электронный ресурс] – URL: <http://www.osp.ru/lan/2002/06/136286/>.
3. Еременко В.Т. Синтез сетей передачи данных автоматизированных систем управления на основе критерия неблокируемой маршрутизации / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, О.О. Басов // НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ Белгородского государственного университета. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», 2011. – № 7(102). – Выпуск 18/1. – С. 168-176.

4. Еременко В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, С.А. Максаков, А.И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011. – № 9. – С. 46-49.
5. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6. – С. 35-42.
6. Еременко В.Т. Моделирование взаимодействия протокольных реализаций TCP RENO и TCP VEGAS в сети с ограниченной производительностью // Информационные системы и технологии, 2010. – №1. – С. 109-114.
7. Еременко В.Т. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Л.В. Кузьмина и др. // Информационные системы и технологии, 2012. – № 1. – С. 78-84.
8. 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.
9. Еременко В.Т. Рекурсивный алгоритм оценки минимальной величины канального ресурса в сети передачи данных / В.Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов // Информационные системы и технологии, 2012. – № 4. – С. 97-102.
10. Еременко В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией / В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, С.А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. – № 4. – С. 38-46.
11. Еременко В.Т. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов, С.А. Черепков, А.Е. Георгиевский // Информационные системы и технологии, 2012. – № 6. – С. 114-119.
12. Еременко В.Т. Анализ моделей управления трафиком в сетях АСУП на основе технологии MPLS / В.Т. Еременко, С.В. Еременко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев // Информационные системы и технологии, 2013. – № 1. – С. 106-112.

Еременко Алексей Владимирович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 920 812 89 90

E-mail: alex_er@bk.ru

A.V. ERYOMENKO (*Post-graduate Student of the Department
«Electronics, Computer Technology and Information Security»
State University – ESPC, Orel*)

**MEANS OF INDUSTRIAL NETWORKS
IMITATING MODELLING OF INTRA LEGAL INTERRUPTIONS OF PROCESSES OF
INFORMATION EXCHANGE IN INDUSTRIAL NETWORKS**

In article process of information exchange in the environment of industrial networks taking into account interaction of legal objects is considered.

Keywords: *intra legal interruptions; process of information exchange; industrial networks.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Lyubashin A.N. Promy'shlenny'e seti [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://asutp.ru/?p=600353>.
2. Ethernet v sistemax prony'shlennoj avtomatizacii [E'lektronny'j resurs] – URL: <http://www.osp.ru/lan/2002/06/136286/>.
3. Eryomenko V.T. Sintez setej peredachi danny'x avtomatizirovanny'x sistem upravleniya na osnove kriteriya neblokiruemoj marshrutizacii / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, A.I. Oficerov, O.O. Basov //

- NAUCHNY'E VEDOMOSTI Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Istoriya. Politologiya. E'konomika. Informatika», 2011. – № 7(102). – Vy'pusk 18/1. – S. 168-176.
4. Eryomenko V.T. Optimizaciya resursov i upravlenie processami informacionnogo obmena v setyax ASUTP na osnove polevy'x shin / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, S.A. Maksakov, A.I. Kulenich // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2011. – № 9. – S. 46-49.
 5. Modelirovanie informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x integrirovanny'x ASU / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, T.M. Paramoxina, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 6. – S. 35-42.
 6. Eryomenko V.T. Modelirovanie vzaimodejstviya protokol'ny'x realizacij TCP RENO i TCP VEGASv seti s ogranichennoj proizvoditel'nost'yu // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – №1. – S. 109-114.
 7. Eryomenko V.T. Metody' resheniya zadach raspredeleniya informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x predpriyatiya na osnove rezervirovaniya resursov / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, L.V. Ku'mina i dr. // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 1. – S. 78-84.
 8. Eryomenko V.T., Afonin S.I. Sozdanie teoreticheskix osnov avtomatizacii i postroeniya texnologicheskoy sostavlyayushhej ASU territorial'no raspredelyonny'x predpriyatij // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 2. – S. 99-105.
 9. Eryomenko V.T. Rekursivny'j algoritm ocenki minimal'noj velichiny' kanal'nogo resursa v seti peredachi danny'x / V.T. Eryomenko, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov, D.A. Krasnov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 4. – S. 97-102.
 10. Eryomenko V.T. Metod proektirvaniya setej peredachi danny'x, sovместimy'x s neblokiruemoj marshrutizaciej / V.T. Eryomenko, A.I. Oficerov, S.A. Cherepkov // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x texnologij, 2012. – № 4. – S. 38-46.
 11. Eryomenko V.T. Reshenie zadach upravleniya setevy'mi resursami v usloviyax dinamicheskogo izmeneniya konfiguracii besprovodnoj seti ASUP / V.T. Eryomenko, D.V. Anisimov, D.A. Plashhenkov, D.A. Krasnov, S.A. Cherepkov, A.E. Georgievskij // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 6. – S. 114-119.
 12. Eryomenko V.T. Analiz modelej upravleniya trafikom v setyax ASUP na osnove texnologii MPLS / V.T. Eryomenko, S.V. Eryomenko, D.V. Anisimov, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 1. – S. 106-112.

УДК 681.5.01:658.512

Е.В. ЛУБЕНЦОВА, А.А. ВОЛОДИН

МЕТОД АППРОКСИМИРУЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОСИСТЕМ

Проведено теоретическое обоснование и экспериментально проверено использование функций, аппроксимирующих релейные функции, при математическом моделировании и управлении процессом глубинного непрерывного культивирования микроорганизмов в биореакторах. В основе аппроксимирующих функций использована сигмоидная функция, которая используется в качестве функций активации в интеллектуальных системах. При использовании сигмоидных функций и их комбинации в алгоритме управления, например, подачей субстрата в биореактор, обеспечивается плавное изменение регулирующих воздействий, что снижает динамические нагрузки на исполнительные устройства системы, с одной стороны, и демпфирует реакцию биосистемы, с другой. Как показало проведенное исследование, нелинейный алгоритм управления на основе сигмоидной функции способен обеспечить заданное качество переходных процессов: отсутствие перерегулирования и статической ошибки, малое время переходного процесса. Следовательно, применение метода аппроксимирующих преобразований при математическом моделировании и управлении процессом глубинного непрерывного культивирования микроорганизмов в биореакторах является вполне обоснованным.

Ключевые слова: *сигмоидная функция; аппроксимация; моделирование; управление подачей субстрата; культивирование микроорганизмов.*

При непрерывном процессе биосинтеза подбором скорости потока можно стабилизировать скорость роста микроорганизмов в любой точке кривой экспоненциального роста микроорганизмов. Наиболее простым способом стабилизации являются системы, реализующие релейное управление потоком подаваемого в реактор субстрата и удалением части популяции из него в виде регуляторов с двухпозиционным управлением («включено/выключено»).

В реальных биосистемах релейные воздействия приводят к возникновению переходных процессов, нежелательных в установившихся режимах роста микроорганизмов. Скачкообразные изменения параметров окружающей среды могут также приводить к временным нарушениям характера изменения компонент матрицы внутриклеточных управлений в силу инерционности регуляторных систем клетки [1]. Нелинейные элементы образуют в описании системы «разрывы», из-за которых систему нельзя представить в целом виде единым уравнением, что значительно усложняет моделирование, причем не только биотехнологических, но и технических систем. Кроме того, релейные (а также скачкообразные, ступенчатые) воздействия в каналах управления обуславливают динамические нагрузки на элементы системы. При использовании релейного управления на потоки подаваемого субстрата и удаляемой из аппарата биомассы могут возникать нежелательные колебания. Чтобы избежать этого, функция переключения по возможности должна содержать как можно меньше разрывов, а в лучшем случае вообще должна быть гладкой. Добиться гладкой формы функции переключения классическими методами довольно сложно. Аппроксимация характеристики с разрывами кусочно, часто кусочно-линейно [2], не является, по нашему мнению, оптимальным при управлении слабовоспроизводимой биотехнологической системой, так как моменты переключения линейных участков при такой аппроксимации жестко фиксированы и не корректируются при изменившихся условиях управляемого процесса. Поэтому применение метода аппроксимирующих преобразований для этих целей является вполне обоснованным [3].

В данной работе предложено в качестве функций управления использовать гладкие непрерывные функции, аппроксимирующие релейные (ступенчатые). К таким функциям

относится нелинейная функция – сигмоидная, которая широко используется в качестве функций активации в интеллектуальных системах [4]. При использовании такой функции в алгоритме управления, например, подачей субстрата в биореактор, обеспечивается плавное изменение регулирующих воздействий, что снижает динамические нагрузки на исполнительные устройства системы, с одной стороны, и демпфирует реакцию биосистемы, с другой. Сигмоидная функция – это функция вида

$$f(x) = \text{sigmf}(x, b, c) = \frac{1}{1 + e^{-b(x-c)}}, \quad (1)$$

где b, c – параметры настройки.

График сигмоидной функции представляет собой s-образную симметричную кривую, принимающую значения от 0 до 1 наподобие сглаженной ступенчатой функции Хевисайда. Параметр функции c задает точку перегиба, коэффициент b – крутизну и направление функции: чем больше он по модулю, тем «ступень» круче. Если $b < 0$, то функция убывающая; если $b > 0$, то функция возрастающая. Эти особенности сигмоидной функции позволяют хорошо передавать нечеткое условие при $b > 0$, если $x > c$, то «да», а если $x < c$, то «нет», или отрицание этого условия при $b < 0$. Чем больше по модулю b , тем более условие четкое. При $b \rightarrow \pm \infty$ получаем ступенчатую функцию Хевисайда, т.е. четкое условие. Сигмоидные функции реализуются как встроенные функции в программе Matlab и его инструменте Simulink. Для иллюстрации перечисленных особенностей сигмоидных функций на рисунке 1 представлены построенные в среде MatLab графики этих функций.

При моделировании в качестве объекта управления рассматривается сложный биотехнологический процесс выращивания дрожжей в ферментаторе (биореакторе) непрерывного культивирования. В начале процесса ферментатор заполняется субстратом и закваской до половины рабочего объема, и то, и другое вносится, как правило, в количествах, максимально возможных или близких к этому. Затем включается аэрация, концентрация микробной биомассы увеличивается и концентрация субстрата начинает уменьшаться. После уменьшения ее до определенного значения начинается доливка субстрата, а по достижению объема, близкого к рабочему, приступают к отбору биомассы. Ферментатор входит в рабочий режим и потоки субстрата (D_s) и биомассы (D_x) сравниваются $D_s = D_x = D$. Такую биосистему можно описать системой дифференциальных уравнений, описывающих изменение концентрации микробной биомассы (x) и концентрации лимитирующего субстрата (s) в условиях хемостатного культивирования, которые были выведены Ж. Моно, исходя из условий материального баланса [5].

В эту модель роста микробных популяций кроме концентраций субстрата s и биомассы x нами введена ещё одна переменная – уровень h жидкости в ферментаторе. С учетом этого модель принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \mu_m \frac{s}{s+K} x - D_x(x, s, h)x; \\ \frac{ds}{dt} = D_s(x, s, h)s_0 - \frac{1}{Y} \mu_m \frac{s}{s+K} x - D_x(x, s, h)s; \\ \frac{dh}{dt} = -D_x(x, s, h) + D_s(x, s, h), \end{cases} \quad (2)$$

где x – концентрация микробной биомассы; μ_m – максимальная скорость размножения; s – концентрация лимитирующего субстрата; K – константа Моно-Михаэлиса или константа полунасыщения, равная концентрации субстрата, при которой скорость их размножения

$\mu(t) = \frac{dx}{dt}$ равна половине максимальной; Y – так называемый экономический коэффициент по биомассе к субстрату, равный отношению полученной биомассы к израсходованной массе

субстрата $Y = \frac{\Delta x}{\Delta s}$; $D_s(x,s,h)$, $D_x(x,s,h)$ – количество поступающего субстрата и количество сливаемого субстрата.

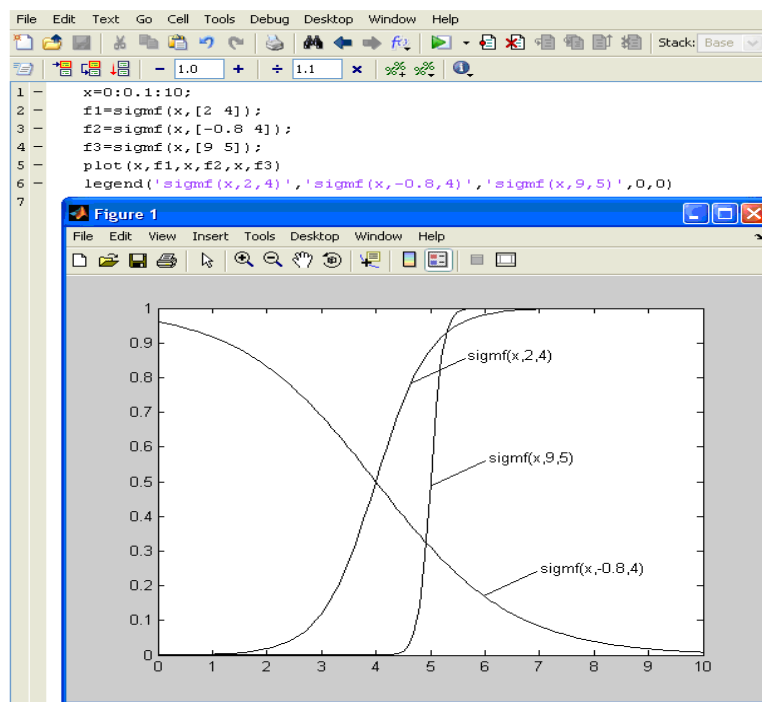


Рисунок 1 – Графики сигмоидных функций в среде MatLab

В начальный момент времени $h(0) = 0,5$, а при нормальном рабочем объеме величина $h = 1$. Регулирование работы ферментатора сводится к регулированию потоков, т.е. к определению оптимального характера изменения функций $D_x(x,s,h)$ и $D_s(x,s,h)$. Представим функции $D_x(x,s,h)$ и $D_s(x,s,h)$ с помощью сигмоидной функции следующим образом:

$$\begin{aligned} D_s(x,s,h) &= K_2 \cdot \text{sigm}(h, -k_1, 1) \text{sigm}(s, -k_3, s_\infty); \\ D_x(x,s,h) &= K_1 \cdot \text{sigm}(h, k_2, 1), \end{aligned} \quad (3)$$

где K_1 , K_2 , k_1 , k_2 , k_3 – настроечные коэффициенты (константы).

С учетом (3) алгоритм управления будет плавно включать долив субстрата при падении его концентрации $s < s_\infty$ или при уменьшении относительного уровня $h < 1$, а также плавно включать отбор культуральной жидкости из аппарата при достижении уровня $h > 1$.

Определим коэффициенты K_1 и K_2 , исходя из выполнения следующих условий:

$$D_x(x(\infty), s(\infty), h(\infty)) = D_s(x(\infty), s(\infty), h(\infty)) = D_{\text{opt}}; h(\infty) = 1.$$

Получим

$$K_1 \cdot \frac{1}{2} = K_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = D_{\text{opt}}; K_1 = 2D_{\text{opt}}; K_2 = 4D_{\text{opt}}. \quad (4)$$

Коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 определяют, насколько плавным будет включение/выключение потоков. Задав функции $D_x(x,s,h)$ и $D_s(x,s,h)$, выбрав коэффициенты $k_1 = k_2 = 20; k_3 = 2$ и приняв в расчете следующие значения констант

$$\mu_m = 0.34; s_0 = 40; K = 9; Y = 0.8; h(0) = 0.5; x(0) = 20; s(0) = 40;$$

$$D_{opt} = \mu_m \left(1 - \sqrt{\frac{K}{s_0 + K}} \right) = 0.2; s_\infty = \sqrt{(s_0 + K)K} - K = 12,$$

получим математическую модель процесса, включающую три выходные переменные: концентрацию биомассы x , концентрацию субстрата s и уровень в аппарате h :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 0.34 \frac{s}{s+9} x - 2 \cdot 0.2 \operatorname{sigm}(h, 20, 1) \cdot x; \\ \frac{ds}{dt} = 4 \cdot 0.2 \cdot \operatorname{sigm}(h, -20, 1) \cdot \operatorname{sigm}(s, -2, 12) \cdot 40 - \frac{1}{0.8} 0.34 \frac{s}{s+9} x - 2 \cdot 0.2 \operatorname{sigm}(h, 20, 1) \cdot s; \\ \frac{dh}{dt} = -2 \cdot 0.2 \operatorname{sigm}(h, 20, 1) + 4 \cdot 0.2 \cdot \operatorname{sigm}(h, -20, 1) \cdot \operatorname{sigm}(s, -2, 12). \end{cases} \quad (5)$$

Система уравнений (5) решена в MatLab Simulink файл MONOmodel1.mdl [6]. Схема модели приведена на рисунке 2, полученные динамические характеристики процесса биосинтеза представлены на рисунке 3.

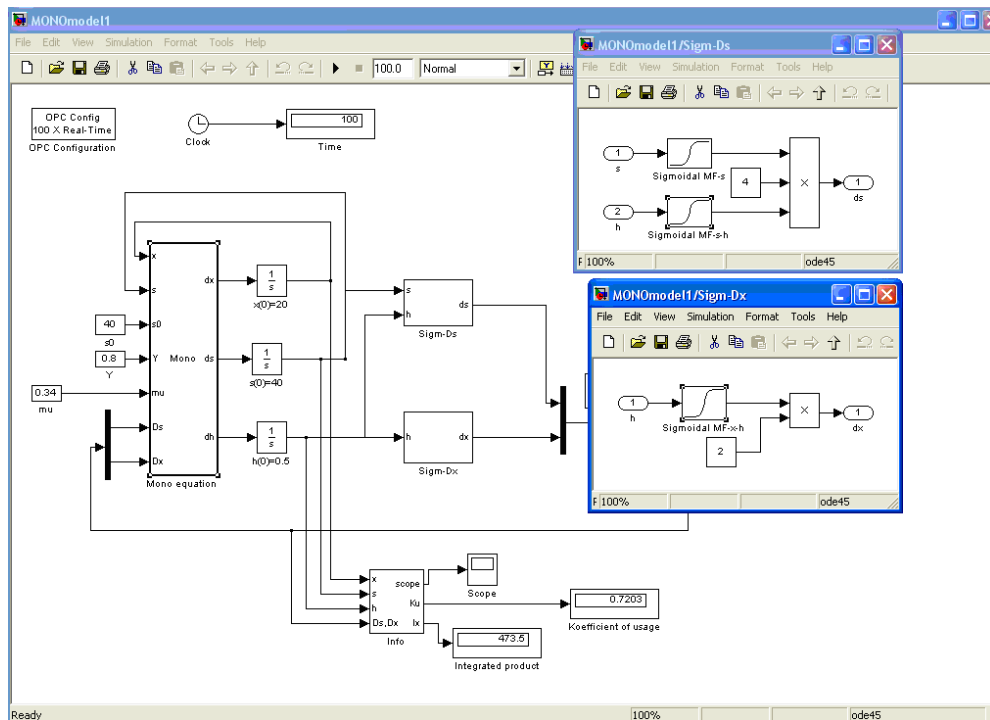


Рисунок 2 – Схема моделирования процесса на основе системы уравнений Моно

Из рисунка 3 видно, что все характеристики имеют плавный характер. После резкого снижения концентрации субстрата в начале процесса регулятор на основе аппроксимирующих функций поддерживает значение концентрации субстрата вблизи желаемой величины $s = 12$ г/л. Это осуществляется за счет увеличения притока $D_s(x, s, h)$, что приводит в начале процесса к небольшому перерегулированию по уровню в аппарате (7,5%), которое затем компенсируется за счет оттока $D_x(x, s, h)$.

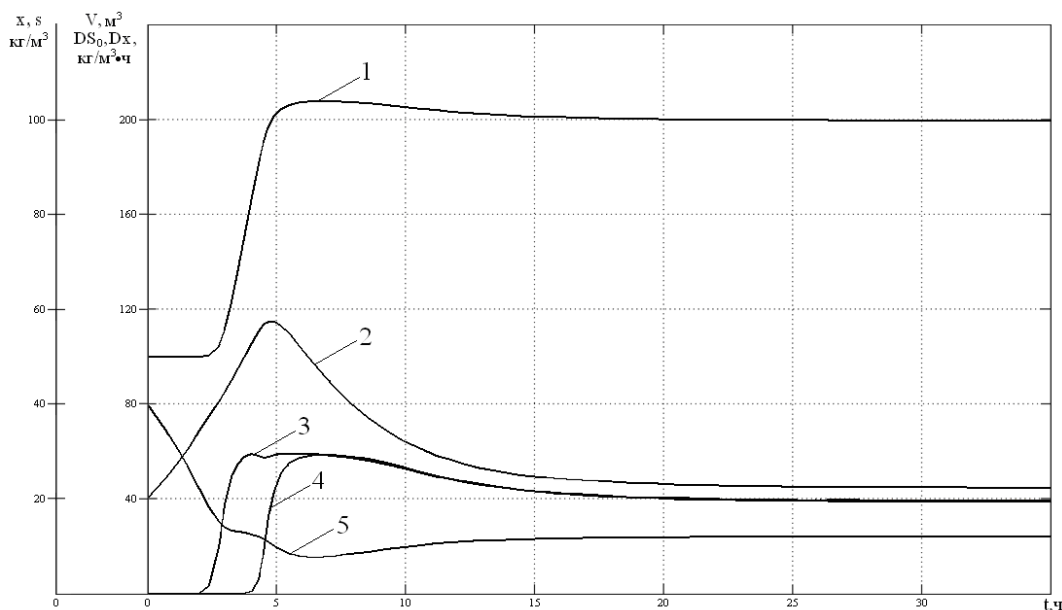


Рисунок 3 – Графики решения системы уравнений Моно:
1 – объем жидкости в реакторе (V); 2 – концентрация биомассы (x); 3 – количество поступающего субстрата (DS₀);
4 – количество сливающегося субстрата (Dx); 5 – концентрация субстрата (s)

Рассмотрим процесс биосинтеза с точки зрения возможности интенсификации и повышения продуктивности его за счет создания оптимальных условий по концентрации субстрата sr во входном потоке и скорости разбавления D . Изменяя скорость разбавления, можно получать режимы, обеспечивающие различную скорость роста популяции. При медленном протоке среды, т.е. при медленном росте культура испытывает сильную лимитацию по данному субстрату. При быстром протоке среды, т. е. при быстром росте степень лимитирования слабая, приближающаяся к условиям экспоненциального роста. Хемостатный способ культивирования в строго контролируемых условиях является основным для изучения свойств микробных клеток и культур [7]. В турбидостате скорость разбавления сама устанавливается в соответствии с заданной плотностью популяции. Этим турбидостат отличается от хемостата, в котором фиксируется скорость разбавления, соответственно которой устанавливается концентрация биомассы. Хотя теоретически взаимосвязь между концентрацией биомассы и скоростью разбавления подчиняется одним и тем же закономерностям, что в хемостате и турбидостате, методы управления процессами различны. В связи с чем проведено исследование влияния концентрации субстрата и объемной скорости среды через аппарат на величину интегрального продукта

$$I_{x+} = \int_0^{100} D_x(t)x(t)dt.$$

Концентрация субстрата sr изменялась в пределах от 11 до 13 г/л,

величина D варьировалась в пределах от 0,17 до 27 ч⁻¹. Исследования проводились при номинальном значении максимальной удельной скорости $\mu_m = 0,34$ ч⁻¹ с помощью m-файла MONOanalys1.m. В результате численного решения системы уравнений (5) получена

$$\text{зависимость интегрального продукта } I_{x+} = \int_0^{100} D_x(t)x(t)dt \text{ от } D \text{ и равновесной концентрации}$$

sr , найден максимум $I_{x+} = 473,21$ ед. при $D_{opt} = D = 0.2$ и $s_{\infty} = sr = 12.5$.

При численном моделировании системы оказалось, что существует ограничение по величине скорости протока, т.е. при некоторых значениях D и sr процесс практически не реализуется. Это связано с тем, что скорость протока настолько велика, что поступающий субстрат полностью вымывается из аппарата и образования продукта и биомассы не

происходит.

Отметим, что теоретические исследования проводились при номинальном значении максимальной удельной скорости $\mu_m = 0,34 \text{ ч}^{-1}$. Однако на практике в процессе биосинтеза возможны проявления неконтролируемых возмущений, что отражается на изменении кинетической характеристики преимущественно на величине максимальной удельной скорости роста μ_m . Поэтому следует считать, что имеет место параметрическая неопределенность в переменных процесса и, в частности, в удельной скорости роста в модели биосистемы. В связи с этим проведены исследования, в которых неконтролируемое возмущение μ_m изменялось по гармоническому закону $\mu_m(t) = 0,34 \cdot (0,25 \cdot \sin(0,2 \cdot t) + 1)$. На рисунке 4 приведены динамические характеристики процесса: изменение уровня в аппарате (объем заполнения реактора), поток поступающего субстрата (DS_0), поток сливаемого субстрата (Dx) и концентрация субстрата (s) на выходе из аппарата при изменении максимальной удельной скорости роста μ_m .

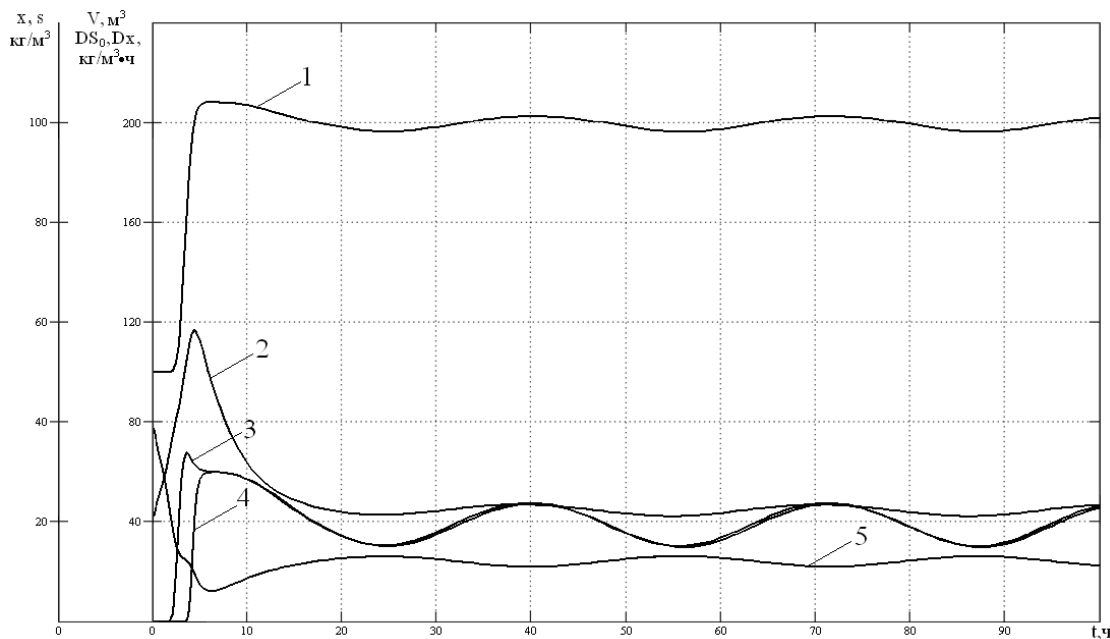


Рисунок 4 – Динамические характеристики процесса при изменении максимальной удельной скорости роста μ_m :

1 – объем жидкости в реакторе (V); 2 – концентрация биомассы (x); 3 – количество поступающего субстрата (DS_0); 4 – количество сливаемого субстрата (Dx); 5 – концентрация субстрата (s)

Как видно из рисунка 4, имеют место незначительные колебания переменных процесса, несмотря на реализацию аппроксимирующих управлений величиной поступающего потока субстрата и отводимого потока биомассы из аппарата. Перерегулирование по уровню жидкости в аппарате составило 7,5% при максимальных значениях $DS_0 = Dx = 60 \text{ кг/м}^3/\text{ч}$. Это объясняется тем, что равновесные концентрации, входящие в управляющие воздействия $D_s(x, s, h)$ и $D_x(x, s, h)$, при максимальной производительности s_∞ и x_∞ не зависят от μ_m . От этой величины зависит лишь поток и поэтому наличие множителя в выражении для потока D_s , зависящего от концентрации субстрата s , приводит к тому, что система с небольшими колебаниями поддерживает концентрацию субстрата вблизи равновесной концентрации $s = 12 \text{ г/л}$.

Для того, чтобы исключить колебания переменных процесса и перерегулирования по уровню, необходимо, чтобы регулятор полностью компенсировал возмущение по μ_m . Для этого функции $D_s(x, s, h)$ и $D_x(x, s, h)$ в данной работе предложено реализовать с помощью сигмоидных функций следующего вида:

$$D_s(x, s, h) = 4D_{opt} \cdot \text{sigm}(h, -k_1, 1) \text{sigm}(s, -k_3, s_\infty);$$

$$D_x(x, s, h) = 4D_{opt} \cdot \text{sigm}(h, k_2, 1) \text{sigm}(x, k_4, x_\infty),$$
(6)

где k_2, k_4 – коэффициенты, которые должны быть такими, чтобы возмущение по μ_m перестало сколько-нибудь серьёзно сказываться на концентрациях субстрата и продукта; k_1, k_3 – коэффициенты, которые должны быть такими, чтобы потоки включались тогда, когда уровень в аппарате приблизится к номинальному, а концентрация субстрата уменьшится приблизительно до величины 12 г/л.

Путем несложного подбора были получены значения коэффициентов $(k_1, k_2, k_3, k_4) = (11.5, 27, 1.5, 1.5)$ и реализованы в модели системы MONOmodel1m1.mdl. При наличии возмущения по μ_m в системе с такими коэффициентами получен режим хемостата [7], при котором меняется поток, все параметры биосистемы, концентрации биомассы и субстрата стабилизировались, производительность максимальна (рис. 5).

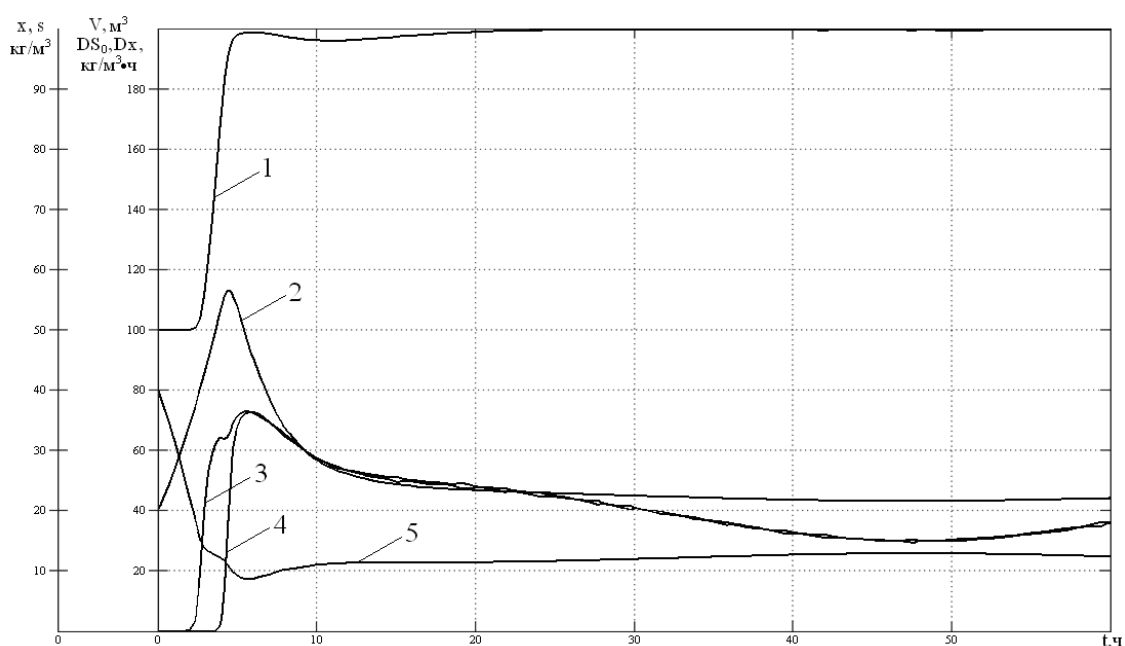


Рисунок 5 – Графики решения системы уравнений Моно:

1 – объем жидкости в реакторе (V); 2 – концентрация биомассы (x); 3 – количество поступающего субстрата (DS₀);

4 – количество сливающегося субстрата (Dx); 5 – концентрация субстрата (s)

Влияние скорректированных управляющих воздействий на переменные состояния и производительность имеет тот же качественный характер, что и в случае первоначальных сигмоидных функций. Из полученных результатов видно, что время, за которое система приходит в стационарное состояние, в котором все параметры биосистемы, концентрации биомассы и субстрата, уровень в аппарате постоянны во времени, по сравнению с системой, в которой возмущение по μ_m отсутствует, незначительно увеличилось (в 1,2 раза), но колебания концентраций субстрата и биомассы полностью исключены при сохранении максимума концентрации биомассы в переходном процессе. Перерегулирование по уровню жидкости в аппарате отсутствует, что объясняется ускорением слива в 1,3 раза при более быстром протоке среды и сигнале управления, увеличенном в начале переходного процесса на 20% ($DS_0 = Dx = 72$ кг/м³ч). Следовательно, можно считать, что предложенный способ управления биосистемой реализует широко используемый в промышленности хемотурбидостатный принцип культивирования (поддержание постоянной концентрации лимитирующего субстрата и постоянной концентрации биомассы), поскольку в течение

длительного непрерывного культивирования $D_x=D_s$ и обеспечивается возможность поддержания равенства $D = \mu$, ds/dt и $dx/dt = 0$.

В этом режиме культивирования функционирование ферментационной системы происходит следующим образом: повышение μ_m , а, следовательно, и концентрации клеток ускоряет проток среды и наоборот; поступление свежей питательной среды и вымывание биомассы повышает скорость деления клеток, в результате разбавления культуры снижается концентрация веществ, лимитирующих ростовые процессы, и скорость роста культуры повышается; увеличивающаяся популяция сопровождается снижением концентрации субстрата, что, в свою очередь, приводит к торможению роста культуры. Конечным итогом этих процессов (после затухания колебаний в данном случае на интервале времени $0 \leq T \leq 23,5$ ч (рис. 5)) является установление равновесия между скоростью роста культуры и ее разбавлением. Заметим, что время затухания колебаний (время переходных процессов) необходимо уменьшать, так как в противном случае возможно замедление роста клеток и снижение количества получаемой биомассы [8].

При численном моделировании оказалось, что существуют ограничения по концентрации $s_\infty = sr$ и $x_\infty = xr$, т.е. при некоторых значениях sr и xr биосистема становится либо неустойчивой к возмущению по μ_m , либо процесс практически не реализуется. Для подтверждения этого проведено исследование системы с помощью m-файла MONOanalyses.m и получено численное решение системы дифференциальных уравнений Моно, но с зависимостями $D_s(x, s, h)$ и $D_x(x, s, h)$ уже с четырьмя коэффициентами и варьировании $s_\infty = sr$ и $x_\infty = xr$, определяющих точки перегиба сигмоидных функций в регуляторах потоков. По аналогии с ранее проведенными экспериментами получен график зависимости интегрального продукта от sr и xr , приведенный на рисунке 6, и найден максимум интегрального продукта.

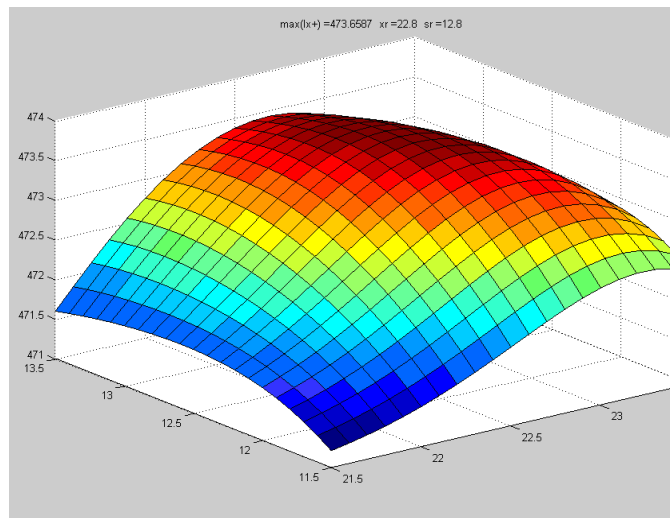


Рисунок 6 – График зависимости интегрального показателя I_{x+} от концентраций sr и xr

Отметим, что и в данном случае максимум получен при величинах sr и xr , близких к теоретическим. Если же в модели значительно уменьшить величины равновесных концентраций, т.е. принять $s_\infty = sr \ll 12$ г/л и $x_\infty = xr \ll 22.4$ г/л, то биосистема в этом случае выходит на эти концентрации, но при этом она становится неустойчивой к возмущению по μ_m . Если же существенно увеличить $x_\infty = xr \gg 22.4$ г/л, то система будет со временем стремиться к переполнению; если же существенно увеличить $s_\infty = sr \gg 12$ г/л – к опорожнению. При значениях $sr = 12,8$ г/л и $xr = 22,8$ г/л система обеспечивает максимум интегрального продукта, равный 473,66 ед.

Таким образом, на основе анализа процесса биосинтеза выявлены управляющие воздействия на приток субстрата и отбор культуральной жидкости из реактора и сформированы законы их реализации с помощью аппроксимирующих функций на основе сигмоидных. Установлено, что равновесные концентрации и величина потока, входящие в одни и те же управляющие воздействия, по-разному зависят от максимальной удельной скорости роста микроорганизмов μ_m . Это необходимо учитывать при настройке разработанного алгоритма управления для поддержания устойчивого состояния биосистемы. Показано, что при некоторых номинальных значениях параметров и коэффициентов модели биосистемы синтезированный нелинейный регулятор потоков на основе сигмоидных функций компенсирует возмущение по μ_m . Полное исключение колебаний переменных процесса биосинтеза достигается за счет корректировки параметров аппроксимирующих функций, что обеспечило получение максимума интегрального показателя качества процесса. Следовательно, применение метода аппроксимирующих преобразований для этих целей является вполне обоснованным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юсупбеков Н.Р. Управление процессами ферментации с применением микро-ЭВМ // Ташкент: Фан, 1987. – 200 с.
2. Федосов Б.Т. Описание и моделирование нелинейных объектов управления. Аппроксимация статических характеристик, имеющих экстремумы [Электронный ресурс]. – URL: http://model.exponenta.ru/bt/bt_154_Extrem_Contr.htm#L11 (дата обращения: 10.09.2012).
3. Лубенцова Е.В. Построение одного класса систем с разрывным управлением // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ – 14: сб. трудов Международ. науч. конф. В 6-ти т. – Т. 2. – Секции 2, 5. – Смоленск: Смоленский филиал Московского энергетическ. инс. (техн. ун.), 2001. – С. 67-69.
4. Омату С. Нейроуправление и его приложения. Кн. 2 / С. Омату, М. Халид, Р. Юсоф. – М.: Радиотехника, 2000. – 272 с.
5. Паников Н.С. Кинетика роста микроорганизмов. Общие закономерности и экологические приложения. – М.: Наука, 1991. – 309 с.
6. Терёхин В.В. Моделирование в системе MATLAB: учебное пособие / Кемеровский государственный университет. – Новокузнецк: Кузбассвузиздат, 2004. – 376 с.
7. Блажевич О.В. Культивирование клеток: курс лекций. – Мн.: БГУ, 2004. – 78 с.
8. Харитонов Л.Ю. Закономерности процесса культивирования аэробных микроорганизмов в одно- и двухсекционном биореакторе [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nauka-shop.com/mod/shop/productID/30497/> (дата обращения: 17.07.2011).

Лубенцова Елена Валерьевна

Невинномысский технологический институт Северо-Кавказского федерального университета, Невинномысск, Ставропольский край
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы, электропривод и автоматика»
Тел.: 8 (86554) 7-17-32
E-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

Володин Александр Андреевич

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь
Аспирант
Тел.: 8 (86554) 7-17-32
E-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

E. V. LUBENCOVA (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Information systems, electric drive and automation»*)
Technological Institute of the North Caucasus Federal University, Nevinnomyssk, Stavropol region

A.A. VOLODIN (*Post-graduate Student*)
North Caucasian Federal University, Stavropol

METHOD OF APPROXIMATING REFORM IN SOLVING PROBLEMS OF MANAGEMENT AND SIMULATION BIOSYSTEMS

Theoretical justification is carried out and the use of the functions approximating relay, at mathematical modeling and management of process of deep continuous cultivation of microorganisms in bioreactors is experimentally checked. At the heart of approximating functions sigmoidny function which is used as activation functions in intellectual systems is used. When using sigmoidny functions and their combination in algorithm of management, for example substratum giving in the bioreactor, provides smooth change of regulating influences that reduces dynamic loads of actuation mechanisms of system on the one hand, and damps biosystem reaction, with another. As showed the conducted research, the nonlinear algorithm of management on the basis of sigmoidny function is capable to provide the set quality of transients: lack of reregulation and static mistake, small time of transient. Therefore, application of a method of approximating transformations at mathematical modeling and management of process of deep continuous cultivation of microorganisms in bioreactors is quite reasonable.

Keywords: *sigmoidny function; approximation; modeling, management of substratum giving; cultivation of microorganisms.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Yusupbekov N.R. Upravlenie processami fermentacii s primeneniem mikro-E'VM // Tashkent: Fan, 1987. – 200 s.
2. Fedosov B.T. Opisanie i modelirovanie nelinejny'x ob'ektov upravleniya. Approksimaciya staticheskix xarakteristik, imeyushhix e'kstremumy' [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://model.exponenta.ru/bt/bt_154_Extrem_Contr.htm#L11 (data obrashheniya: 10.09.2012).
3. Lubencova E.V. Postroenie odnogo klassa sistem s razry'vny'm upravleniem // Matematicheskie metody' v texnike i texnologiyax. MMTT – 14: sb. trudov Mezhdunarod. nauch. konf. V 6-ti t. – T. 2. – Sekcii 2, 5. – Smolensk: Smolenskij filial Moskovskogo e'nergetichesk. ins. (texn. un.), 2001. – S. 67-69.
4. Omatu S. Nejroupravlenie i ego prilozheniya. Kn. 2 / S. Omatu, M. Xalid, R. Yusof. – M.: Radiotexnika, 2000. – 272 s.
5. Panikov N.S. Kinetika rosta mikroorganizmov. Obshhie zakonomernosti i e'kologicheskie prilozheniya. – M.: Nauka, 1991. – 309 s.
6. Teryoxin V.V. Modelirovanie v sisteme MATLAB: uchebnoe posobie / Kemerovskij gosudarstvenny'j universitet. – Novokuzneck: Kuzbassvuzizdat, 2004. – 376 s.
7. Blazhevich O.V. Kul'tivirovanie kletok: kurs lekcij. – Mn.: BGU, 2004. – 78 s.
8. Xaritonova L.Yu. Zakonomernosti processa kel'tivirovaniya ae'robnny'x mikroorganizmov v odno- i dvuxsekcionnom bioreaktore [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.nauka-shop.com/mod/shop/productID/30497/> (data obrashheniya: 17.07.2011).

УДК 004.02:65.011.56

Т.Ю. САВВА

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСПИСАНИЙ
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ**

В статье рассмотрена математическая модель технологических процессов, осуществляемых на предприятиях по переработке плодоовощного сырья, на основе модифицированного аппарата сетей Петри. Предложены алгоритмы построения модифицированной сети Петри для множества технологических процессов при формировании производственных расписаний для указанного вида предприятий.

Ключевые слова: производственное расписание; технологические процессы по переработке плодоовощного сырья; сети Петри.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование производственных расписаний (ПР) на предприятиях является сложной задачей ввиду того, что на возможность их исполнения оказывают влияние множество факторов. В зависимости от того, насколько критичны (с точки зрения диспетчерского отдела, плановика, технологов предприятия) отклонения от принятого ПР, его следует корректировать в сжатые сроки. Решение задачи составления ПР, мониторинга их исполнения и своевременной корректировки имеет важное значение для предприятий различных отраслей промышленности, что обуславливает ведение разработок средств формирования ПР и внедрение их в АСУП [1, 2]. Особую трудность представляют разработка и последующие корректировки ПР на предприятиях по переработке скоропортящегося сырья, в том числе плодоовощного. Это обусловлено требованием принятия решений по их корректировке в минимальные сроки из-за специфики перерабатываемого сырья и наличия жестких ограничений на качественные характеристики используемого сырья, полуфабрикатов и самой готовой продукции (ГП), задаваемых в технологических инструкциях (ТИ). Одним из путей решения задачи построения ПР для указанного типа предприятий является автоматизация их формирования с учетом множества факторов. На основе проведенного анализа специфики организации технологических процессов (ТП) по переработке плодоовощного сырья нами был предложен подход к формализации их представления на основе модифицированного аппарата сетей Петри (МСП) и разработан соответствующий алгоритм построения МСП.

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ
ПЛОДООВОЩНОГО СЫРЬЯ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСПИСАНИЙ**

Формирование ПР в ходе оперативно-календарного планирования осуществляется на основе данных производственной программы (ПП), содержащей сведения о планируемом выпуске готовой продукции в заданных объемах в определенные сроки. В ПП предусматривается, что в планируемом периоде P должно быть произведено N видов продукции, причем n -ая партия готовой продукции в объеме V_n должна быть готова к отгрузке в p -ый момент времени, где $n = \overline{0, N-1}$, $p = \overline{0, P-1}$. ПП формируется с учетом производственных мощностей, следовательно, для ее выполнения в заданном периоде предприятие располагает необходимыми мощностями, в том числе исправным

оборудованием, складскими помещениями и оборудованием для хранения в требуемых условиях, обслуживающим персоналом с заданной квалификацией.

Пусть на предприятии для производства продукции в периоде P могут быть использованы E_j единиц оборудования j -го вида, где $j = \overline{0, J-1}$, J – количество видов оборудования. Для каждого вида оборудования известны объем загружаемой партии сырья и производительность, энергозатраты, подготовительно-заключительное время на переналадку и смену оснастки. Если ТП предполагает этап технологического пролеживания, то этот этап приравнивается к этапам технологической обработки (ТО), и, соответственно, для него при возможности должны быть указаны все перечисленные характеристики. Для выпуска n -го вида ГП, предусмотренного принятой ПП на период P , необходимо I_n видов сырья и полуфабрикатов, закупаемых у сторонних производителей (СПФ). ТП для производства n -го вида ГП включает L_n этапов ТО, каждый из которых соответствует одной технологической операции, выполняемой на оборудовании j -го вида. Количество этапов обработки зависит от принятой рецептуры изготовления ГП и, следовательно, теоретически не ограничено: $L_n \geq 1$.

Тогда ТП производства n -го вида ГП может быть задан в виде списка F_n :

$$F_n = [f_{n,0}, f_{n,1}, f_{n,2}, \dots, f_{n,l}, \dots, f_{n,L_n-1}], \quad (1)$$

где $f_{n,l}$ – номер оборудования, используемого на l -ом этапе ТО: $f_{n,l} = j$.

При этом для каждого l -го этапа ТО согласно рецептуре требуется $X_{n,l}$ ингредиентов. Под ингредиентом подразумевается СПФ, а также полуфабрикаты собственного производства (ПФП):

$$X_{n,l} = \{x_g \mid g = \overline{0, Q_{n,l} - 1}\},$$

где x_g – номер СПФ или ПФП, используемого в качестве ингредиента l -го этапа ТО при изготовлении n -ой ГП:

$$x_g = \begin{cases} i_n, & \text{если используется СПФ,} \\ y_{n,l}, & \text{если используется ПФП, произведенный в результате ТО на } f_{n,l}; \end{cases}$$

где i – номер СПФ, $i_n = \overline{0, I_n - 1}$,

$y_{n,l}$ – номер ПФП из множества произведенных $Y_{n,l}$ в результате ТО на $f_{n,l}$:
 $y_{n,l} = \overline{0, Y_{n,l} - 1}$;

$Q_{n,l}$ – количество ингредиентов l -го этапа ТО при изготовлении n -ой ГП.

Следует отметить, что хотя бы один элемент $Y_{n,l}$ при $l=L_n$ является ГП n -ого вида, т.к. ГП есть частный случай ПФП, произведенных в ходе исполнения соответствующего ТП.

Время ТО, осуществляемое на l -ом этапе изготовления n -го вида ГП, а также необходимое подготовительно-заключительное время могут быть заданы $p_{n,l}$ и $w_{n,l}$ соответственно. Ввиду специфики переработки плодоовощного сырья для каждой пары последовательно осуществляемых этапов ТО следует указать допустимый временной интервал $D[f_{n,r}, f_{n,r+1}]$, где $r = \overline{0, L_n - 2}$.

Таким образом, для формализованного описания ТП производства n -ого вида ГП необходимо знать порядок осуществления ТО – F_n , для каждой l -ой ТО: 1) состав ингредиентов – $X_{n,l}$, 2) результат обработки – $Y_{n,l}$, 3) время обработки – $p_{n,l}$, 4) подготовительно-заключительное время для каждой l -ой ТО – $w_{n,l}$, 5) допустимый временной интервал $D[f_{n,r}, f_{n,r+1}]$, где $n = \overline{0, N - 1}$, $l = \overline{0, L_n - 1}$, $r = \overline{0, L_n - 2}$.

На предприятиях по переработке плодоовощного сырья традиционно выбор видов производимой продукции осуществляется с учетом возможности рационального использования производственных мощностей и материальных ресурсов. Таким образом, с одной стороны, руководство предприятия минимизирует количество видов оборудования, используемого в множестве ТП, а с другой – сокращает число видов СПФ, причем

применимость i -го вида СПФ в различных ТП позволяет варьировать направление использования данного СПФ и получаемых в ходе их переработки ПФП в текущий момент.

Следовательно, для ПП, предусматривающей выпуск $N > 1$ видов ГП, справедливо:

множество СПФ, требуемых для производства N видов ГП, равно $X^{\tilde{N}IO} = \bigcup_{n=0}^{N-1} I_n$;

множество различных ингредиентов, используемых на различных этапах ТО всей совокупности ТП, равно $X = \bigcup_{n=0}^{N-1} \left(\sum_{l=0}^{L_n-1} X_{n,l} \right)$;

совокупность этапов ТО F для N , реализуемых на предприятии ТП: $F = \sum_{n=0}^{N-1} F_n$.

При этом очевидно, что существуют такие $a, a^* \in \{0, 1, \dots, N-1\}$, $b \in \{0, 1, \dots, L_a-1\}$, $b^* \in \{0, 1, \dots, L_{a^*}-1\}$ и $b \neq b^*$ при $a = a^*$, что: $f_{a,b} = f_{a^*,b^*} = j$. То есть, для любых двух видов ГП для соответствующих ТП возможно наличие совпадений по используемому виду оборудования j . Такие ситуации означают наличие конкурентного доступа к оборудованию j -го вида и могут возникать как в рамках одного ТП, так и между этапами ТО различных ТП.

Задача формирования ПР заключается в составлении такого расписания загрузки СПФ и ПФП на обработку, которое:

приведет к выполнению ПП по всем видам ГП $V(P)$ в заданном периоде P :

$$\sum_{l=0}^{L_n-1} (q_{n,l} + w_{n,l} + p_{n,l}) \leq P, \text{ для } \forall n \in \{0, 1, \dots, N-1\},$$

где $q_{n,l}$ – время ожидания множества ингредиентов $X_{n,l}$ загрузки на обработку на оборудовании $f_{n,l}$;

минимизирует издержки производства, включая потери от порчи СПФ, ПФП и ГП.

Очевидно, что минимизировать порчу СПФ и ПФП можно за счет сокращения периодов их нетехнологического пролеживания, т.е. ожидания загрузки $q_{n,l}$ на оборудование на каждом l -ом этапе обработки для каждого реализуемого n -го ТП.

В качестве дополнительных факторов, ограничивающих использование производственных мощностей, следует отметить следующее:

установленное расписание рабочих смен, периодов профилактики оборудования;

разработка ПП сопряжена с наличием возможностей по осуществлению поставок требуемых покупных СПФ (2) в заданном объеме и с требуемыми согласно ТИ качественными характеристиками;

плодоовощное сырье и соответствующие полуфабрикаты подвержены порче, при этом на некоторых этапах СПФ и ПФП могут быть реализованы на рынке, если не предоставляется возможным их использовать в производственном процессе;

ход переработки может быть нарушен в результате возникновения форс-мажорных обстоятельств. Возможность дальнейшего использования ингредиентов в ТП оценивают специалисты лаборатории, для ГП анализируется их качественное состояние согласно требованиям к ГП.

Кроме того, задача составления ПР неразрывно связана с проблемой их оперативной корректировки при выявлении существенных с точки зрения технолога отклонений.

Рассмотренное формализованное описание множества ТП позволяет в общем виде представить математическую модель ТП, реализуемых на предприятиях по переработке плодоовощного сырья, которая может быть использована для разработки алгоритмов формирования ПР. Указанные алгоритмы могут быть положены в основу проектирования средств формирования ПР, которые, в свою очередь, могут быть интегрированы в подсистему оперативно-календарного планирования АСУП. Применение указанных средств позволит в минимальные сроки оценить по набору показателей допустимые варианты ПР,

что особенно важно при организации производства по переработке скоропортящегося, в том числе и плодоовощного сырья.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО АППАРАТА СЕТЕЙ ПЕТРИ

В ходе анализа специфики организации и исполнения ТП по переработке плодоовощного сырья были рассмотрены различные подходы [3] к моделированию множества осуществляемых на предприятии ТП. В результате нами был предложен подход [4] к построению модели ТП на основе модифицированного аппарата сетей Петри. Данный подход включает два этапа: 1) построение МСП⁽ⁿ⁾ для каждого ТП, определенного для n -го вида ГП; 2) формирование объединенной модифицированной сети Петри (ОМСП) путем композиции N построенных МСП⁽ⁿ⁾. Процесс построения МСП⁽ⁿ⁾ для одного ТП некоторого n -го вида ГП предполагает:

- определение множества вершин-переходов $T^{(n)}$ для каждого из предусмотренных ТП этапов ТО, т.е. множества этапов из списка F_n (1);
- выделение множества стартовых вершин-позиций $S^{C(n)}$, число которых соответствует количеству закупаемого сырья и полуфабрикатов (СПФ);
- выделение множества финальных вершин-позиций $S^{Ф(n)}$ для n -го вида ГП, а также полуфабрикатов, получаемых в ходе соответствующего ТП, которые могут быть реализованы на рынке или использованы в качестве ингредиента в другом ТП, осуществляемом на данном предприятии;
- определение множества внутренних вершин-позиций $S^{B(n)}$, соответствующих полуфабрикатам, получаемых на всех L_n этапах ТО, предусмотренных ТП;
- задание функций прямой и обратной инцидентности между вершинами-позициями и вершинами-переходами в соответствии с порядком этапов ТО, перечнем ингредиентов и выходных полуфабрикатов для каждого из них;
- создание буферных вершин-позиций $S^{B(n)}$, каждая из которых связана петлей с вершинами-переходами, соответствующим этапам ТО, где используется один и тот же вид оборудования. Наличие петли указывает на то, что буферная вершина входит в подмножество вершин-позиций, определяемых функциями прямой и обратной инцидентности для указанных вершин-переходов одновременно.

Затем для построения математической модели для всех реализуемых на предприятии ТП формируется ОМСП путем композиции полученных на предыдущем этапе МСП⁽ⁿ⁾.

Композиция набора МСП⁽ⁿ⁾ предполагает следующие этапы:

определение множества вершин-переходов T : $T = \bigcup_{n=0}^{N-1} T^{(n)}$;

определение множества вершин-позиций S , включающего подмножества $S^C, S^Ф, S^B, S^B$, такие, что: $S^{\tilde{N}} = \bigcup_{n=0}^{N-1} S^{\tilde{N}(n)}$, $S^{\hat{O}} = \bigcup_{n=0}^{N-1} S^{\hat{O}(n)}$, $S^{\hat{A}} = \bigcup_{n=0}^{N-1} S^{\hat{A}(n)}$, $S^{\hat{A}} = \bigcup_{n=0}^{N-1} S^{\hat{A}(n)}$;

определение функции прямой и обратной инцидентности для множеств T и S ;

для всех подмножеств позиций-переходов, соответствующих одному и тому же виду используемого оборудования, создание общей буферной вершины-позиции, добавление ее в подмножество вершин-позиций ОМСП, а также внесение необходимых изменений в функции инцидентности.

В матричной форме ОМСП задается следующим образом:

$$C = \langle S, T, M, D(S), D(T), F(T), \mu^0 \rangle,$$

где S – вектор-столбец, включающий идентификаторы вершин-позиций сети соответствующих типов:

$$S = \langle S^C, S^Ф, S^B, S^B \rangle,$$

где S^C – множество стартовых вершин-позиций (генераторов маркеров),

$S^Ф$ – множество финальных вершин-позиций (поглотителей маркеров),

S^B – множество внутренних вершин-позиций;

S^B – множество буферных вершин-позиций (вершины-позиции данного типа могут отсутствовать в МСП);

T – вектор-столбец вершин-переходов сети;

M – матрица инцидентности сети, построенная на основе заданных функций прямой и обратной инцидентности, элементы которой равны:

$$M[i, j] = \begin{cases} v(i, j), & \text{где есть дуга из } S_i \text{ в } T_j, \\ 0, & \text{где нет дуг между } S_i \text{ и } T_j, \\ -v(i, j), & \text{где есть дуга из } T_j \text{ в } S_i, \\ \infty, & \text{где есть петля между } S_i \text{ в } T_j; \end{cases} \quad (2)$$

где $v(i, j)$ – объем ингредиента, находящегося в i -ой вершине-позиции, необходимый для срабатывания вершины-перехода j -ой ТО;

$D(S)$ – вектор-столбец, содержащий сведения о допустимых интервалах между ТО, т.е. времени нахождения в вершинах-позициях сети, кроме буферных;

$D(T)$ – вектор-столбец, содержащий сведения о временных задержках, установленных для вершин-переходов;

$F(T)$ – вектор-столбец, содержащий сведения о функциях определения разрешимости вершин-переходов на основе требуемых объемов ингредиентов $v(i, j)$;

μ^0 – вектор-столбец, определяющий начальную разметку сети.

Пример графического описания фрагмента ОМСП приведен на рисунке 1. Пунктиром обозначены подмножества вершин-переходов, связанных общей буферной вершиной.

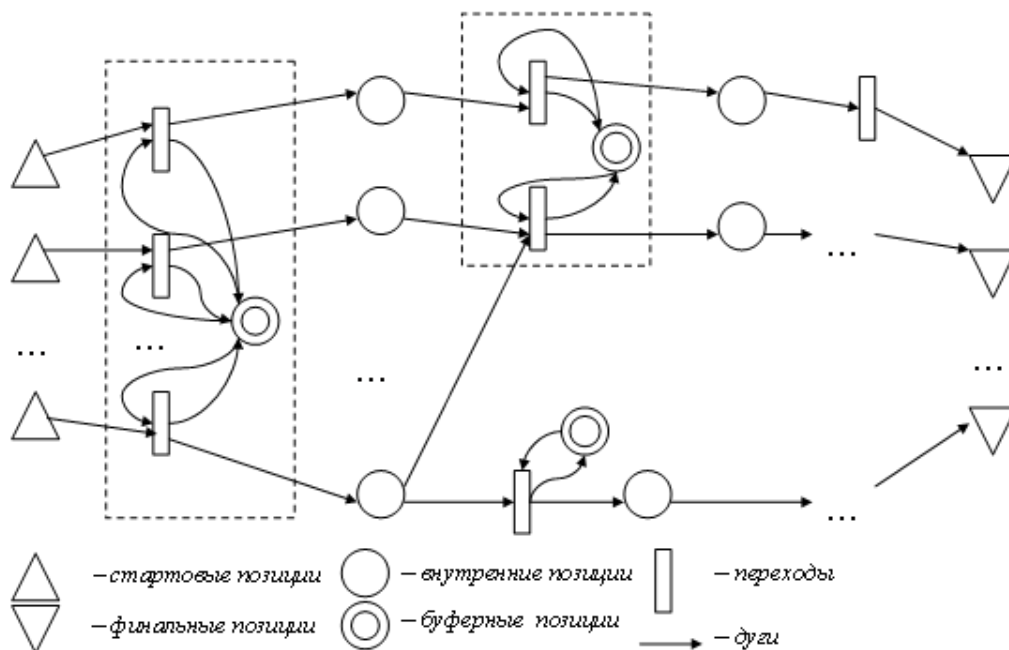


Рисунок 1 – Пример графического описания фрагмента ОМСП

Разметка сети включает число маркеров, находящихся в вершинах из множества S , и обновляется всякий раз, когда происходит перемещение маркеров между вершинами. Таким образом, вектор-столбец разметки μ включает столько же позиций, сколько вектор-столбец S . Начальная разметка μ^0 должна отражать размещение СПФ и ПФП в начальный момент моделирования (маркеры в стартовых и внутренних вершинах-позициях), а также число доступных единиц оборудования, к которому имеется конкурентный доступ (маркеры в буферных вершинах-позициях). Под маркером будем понимать абстракцию партии СПФ или ПФП. Помещение маркера в одну из стартовых или внутренних вершин вектор-столбца S означает, что на предприятии есть СПФ или ПФП соответствующего типа. Перемещение

маркера в финальную вершину-позицию означает завершение ТП и получение соответствующего вида ГП. Ввиду того, что движение маркера по сети соответствует перемещению СПФ или ПФП между этапами ТО, маркер должен включать переменную характеристику – вес, отражающий текущий объем партии СПФ или ПФП.

По сравнению с представленными в [5] описаниями сети Петри и ее расширений, предложенная модификация сети обладает набором вершин-позиций четырех типов, а также маркерами с переменным весом, за счет чего можно моделировать движение партий сырья и полуфабрикатов. Рассматриваемая модифицированная сеть Петри также сочетает в себе расширения, предлагаемые в функционально-временных и цветных сетях Петри. Таким образом, описанный модифицированный аппарат позволяет наиболее полно учесть особенности решаемой задачи.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЕДИНЕННОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СЕТИ ПЕТРИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

На основе предложенного подхода к формированию ОМСП для ТП, определенных для N видов ГП, был разработан алгоритм реализации указанной модели. На рисунке 2 представлена общая схема алгоритма построения МСП⁽ⁿ⁾ для ТП, определенного для некоторого n -го вида ГП. Алгоритм построения МСП⁽ⁿ⁾ включает три основных этапа: 1) ввод данных о выделенных в ТП этапах ТО; 2) определение ограничений на временные интервалы между этапами ТО; 3) создание буферных вершин-позиций для всех подмножеств вершин-переходов, соответствующих одному виду используемого оборудования.

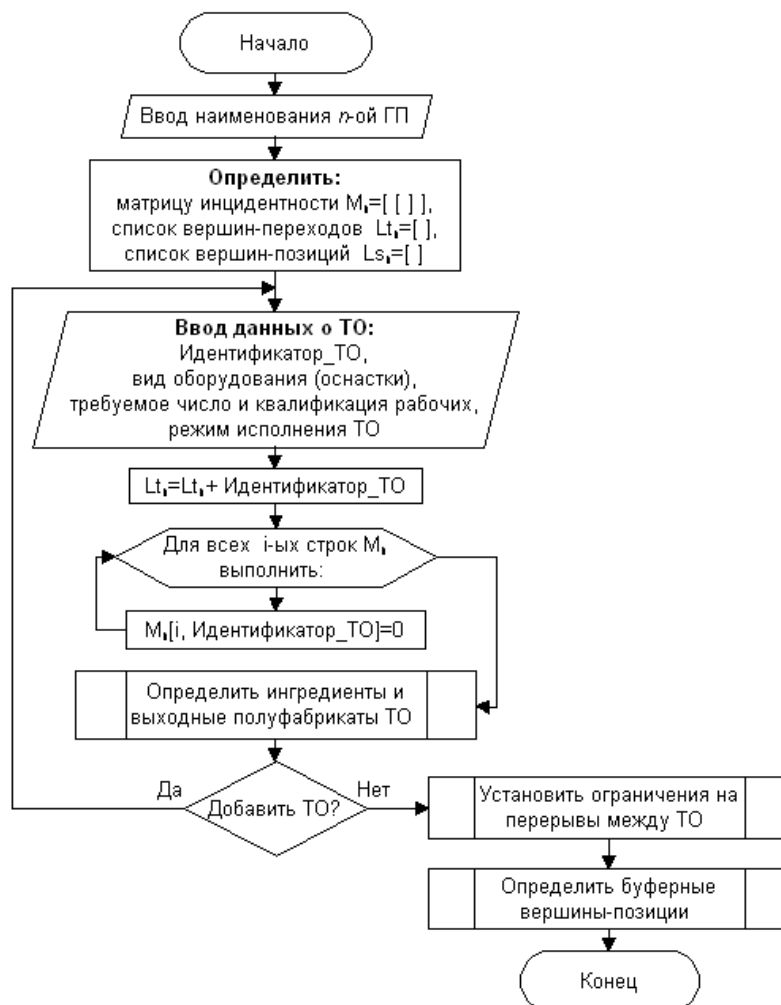


Рисунок 2 – Общая схема алгоритма построения МСП⁽ⁿ⁾ для технологического процесса производства n -го вида готовой продукции

На первом этапе создаются пустые списки для вершин-позиций и для вершин-переходов, а также пустой двумерный список для матрицы инцидентности М. Для каждого этапа ТО в цикле выполняются следующие действия: задается набор атрибутов ТО, создается вершина-переход с уникальным Идентификатором_ТО, в матрице инцидентности добавляется нулевой для всех строк столбец с номером, соответствующим Идентификатору_ТО, определяются непустые множества ингредиентов и выходных ПФП. В качестве атрибутов ТО необходимо указать: наименование ТО, вид оборудования, время обработки, подготовительно-заключительное время, число и квалификацию рабочих, которые должны участвовать в ТО, режим исполнения ТО (температура, давление и т.д.). Общая схема процедуры «Определить ингредиенты и выходные полуфабрикаты ТО» представлена на рисунке 3.

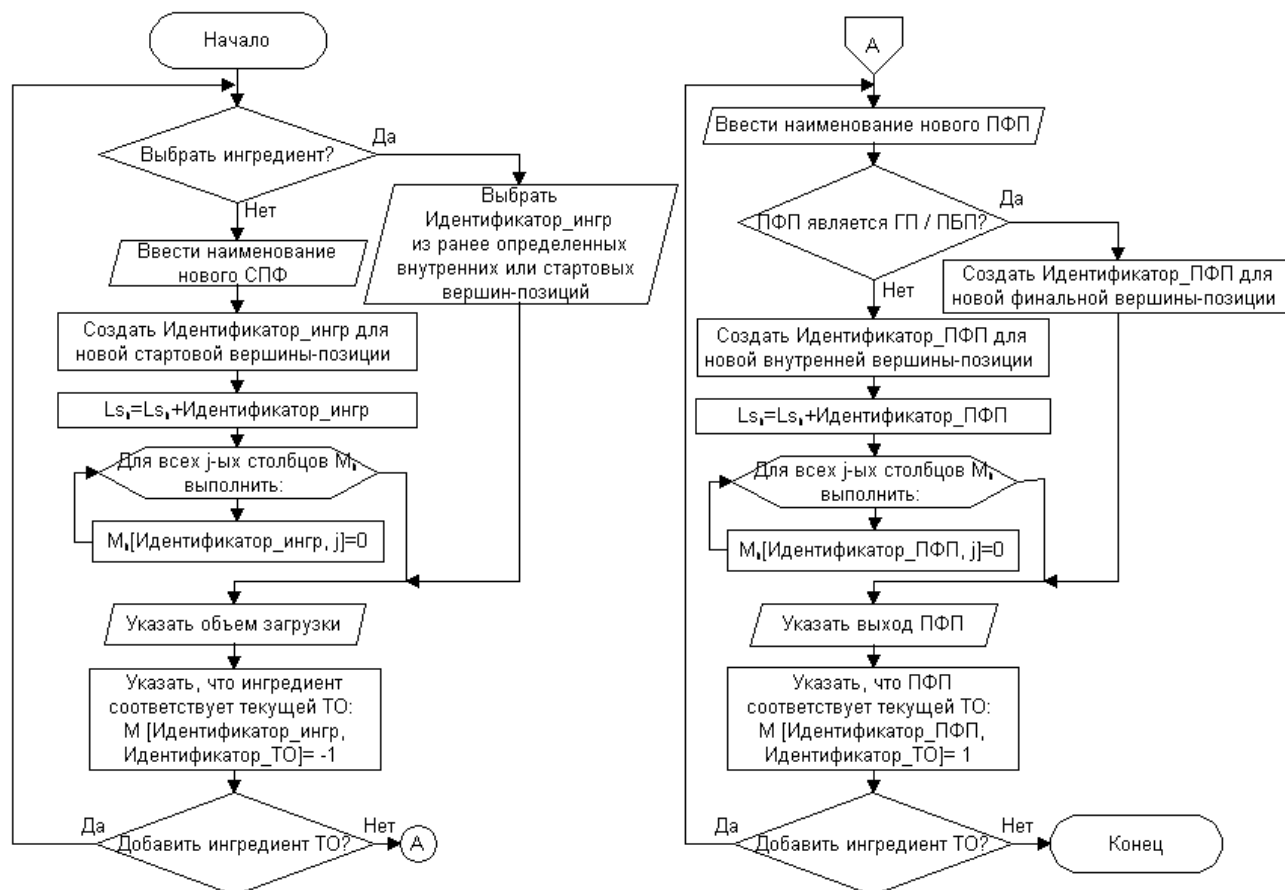


Рисунок 3 – Общая схема алгоритма процедуры «Определить ингредиенты и выходные полуфабрикаты ТО»

Множество ингредиентов ТО должно включать хотя бы один элемент. Если ингредиент относится к закупаемым у сторонних производителей СПФ, то для него создается или выбирается из ранее созданных стартовая вершина-позиция, иначе, если в качестве ингредиента текущей ТО используется выходной ПФП, создаваемый на предшествующей ТО рассматриваемого ТП, для него необходимо выбрать внутреннюю вершину-позицию из ранее определенных. Для новой вершины-позиции указывается уникальный Идентификатор_ингр, который добавляется в конец списка вершин-позиций. Так как в сети еще не определена ни одна ТО, связанная с новой вершиной-позицией, в матрице инцидентности для всех столбцов, соответствующих ранее заданным ТО, в строке с Идентификатором_ингр устанавливаются значения «0». Далее вне зависимости от типа вершины-позиции для нее указывается объем загрузки, который обусловлен характеристиками используемого вида оборудования и данными ТИ ТП. В матрице

инцидентности, согласно (2), задается отношение вхождения рассматриваемой вершины-позиции в вершину-переход, соответствующую текущей ТО.

Результатом ТО является получение минимум одного вида выходного ПФП в объеме (выход ПФП), также обусловленном характеристиками используемого вида оборудования и данными ТИ. Если указанный выходной ПФП является ГП или может быть использован в других ТП или реализован на рынке (ПБП) (в том числе отходы), то для него создается финальная вершина-позиция, иначе – внутренняя. Предполагается, что согласно специфике рассматриваемой предметной области, в ТП не существует двух или более этапов ТО, позволяющих получить одинаковые выходные ПФП. Вне зависимости от типа созданной вершины-позиции ее Идентификатор_ПФП добавляется в конец списка вершин-позиций, а в матрице инцидентности создается нулевая строка для всех столбцов, кроме последнего, соответствующего текущей ТО, для которого, согласно (2), устанавливается значение «-1».

Ввиду особенностей переработки плодоовощного сырья для перерывов между этапами ТО могут быть заданы временные ограничения, при которых ПФП отвечает требуемому уровню качества согласно ТИ. Общая схема алгоритма процедуры «Установить ограничения на перерывы между ТО» представлена на рисунке 4.

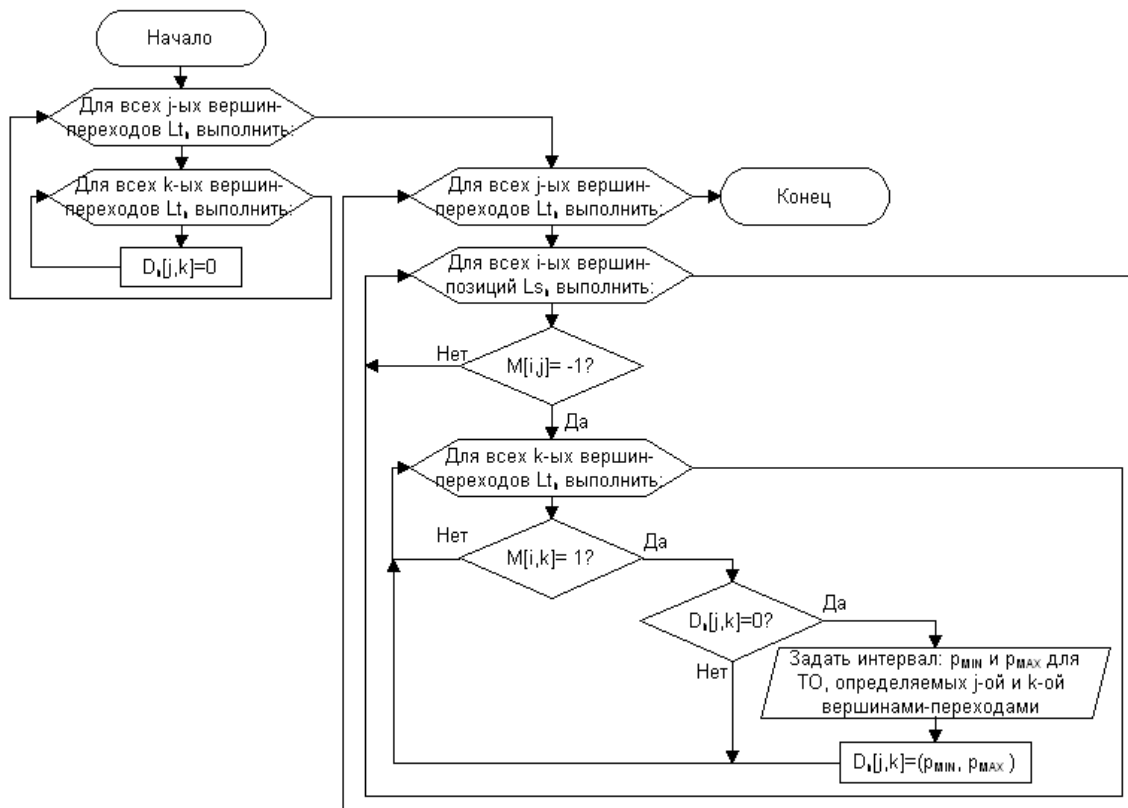


Рисунок 4 – Общая схема алгоритма процедуры «Установить ограничения на перерывы между ТО»

Выполнение указанной процедуры предполагает поиск всех пар последовательно осуществляемых этапов ТО и ввод для каждой из них минимальной и максимальной продолжительности перерыва. При этом, если хотя бы одна из указанных величин не определена, то она считается равной нулю или же теоретически не ограничена. Хранение сведений о допустимых временных интервалах осуществляется в матрице D_n , имеющей размерность $L_n \times L_n$.

Завершающим этапом построения МСП⁽ⁿ⁾ для ТП производства n -го вида готовой продукции является создание буферных вершин-позиций для всех подмножеств ТО, где имеется конкурентный доступ к оборудованию. Общая схема алгоритма процедуры «Определить буферные вершины-позиции» представлена на рисунке 5. Для каждой вершины-перехода выполняется поиск вершины, ссылающейся на аналогичный вид

оборудования. Если найдена вершина-позиция, удовлетворяющая данному условию, то список вершин-позиций дополняется новой буферной вершиной, позволяющей моделировать конкурентный доступ к оборудованию соответствующего вида.

Для моделирования сценария совместного производства двух и более видов продукции на одном предприятии необходимо построить ОМСП. Алгоритм объединения МСП⁽ⁿ⁾ для N видов ТП включает следующие этапы:

создание пустых списков вершин-позиций L_s^0 и вершин-переходов L_t^0 , а также пустого двумерного списка M^0 для матрицы инцидентности ОМСП;

выполнение для всех МСП⁽ⁿ⁾ композиции с ОМСП путем внесения сведений об определенных в МСП⁽ⁿ⁾ вершинах-позициях, вершинах-переходах и значениях матрицы инцидентности в соответствующие списки ОМСП;

определение буферных вершин-позиций для всех подмножеств ТО в ОМСП, где имеется конкурентный доступ к оборудованию;

объединение матриц D_n , содержащих сведения о заданных интервалах между ТО.

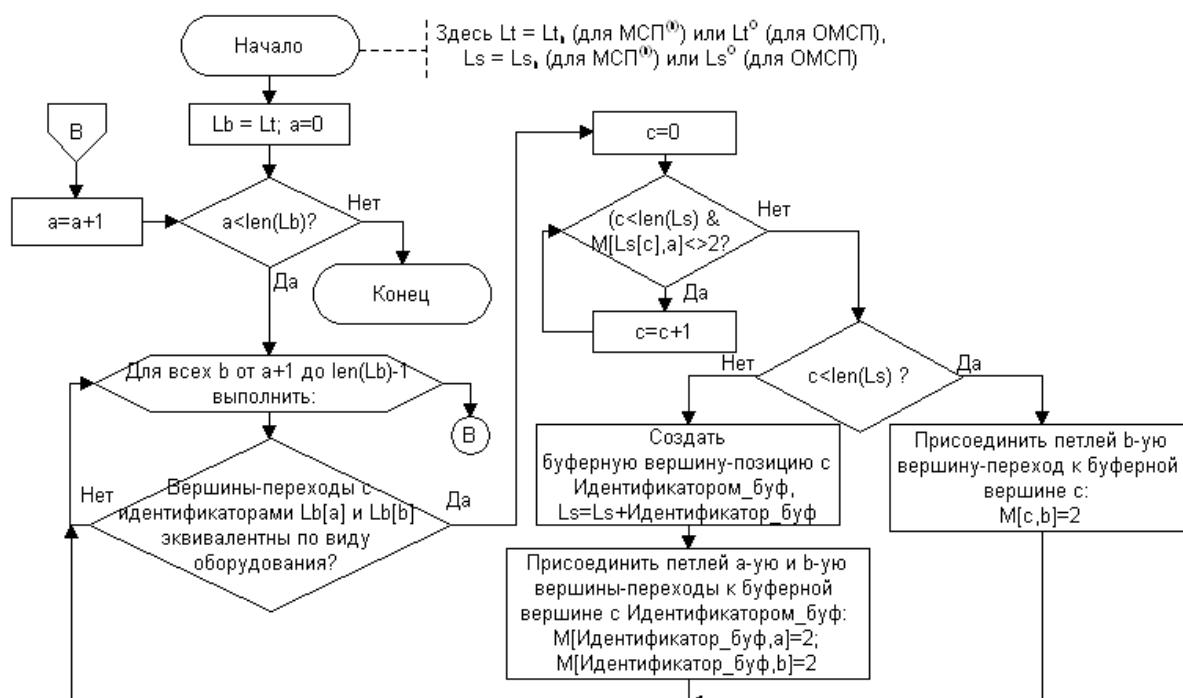


Рисунок 5 – Общая схема алгоритма процедуры «Определить буферные вершины-позиции»

На рисунке 6 представлена общая схема алгоритма построения ОМСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к моделированию ТП, реализуемых на предприятиях по переработке плодоовощного сырья, и созданные в соответствии с ним алгоритмы могут быть положены в основу разработки программных средств формирования ПР. Предполагается, что внедрение подобной системы в подсистему оперативно-календарного планирования предприятий по переработке плодоовощного сырья позволит снизить потери сырья и полуфабрикатов от порчи за счет оперативности корректировок ПР в условиях жестких временных ограничений и установленных специфических требований к организации ТП переработки указанного типа сырья.

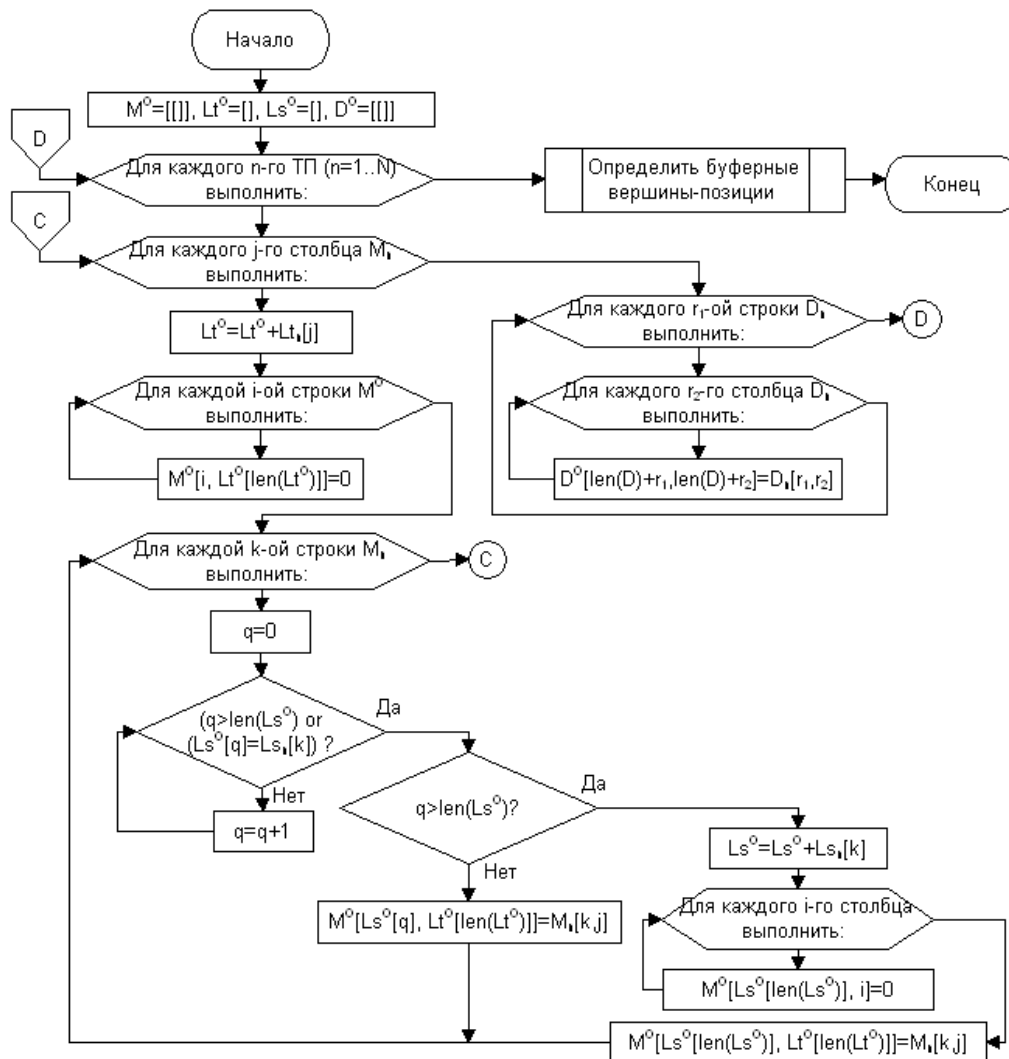


Рисунок 6 – Общая схема алгоритма построения объединенной модифицированной сети Петри

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савина О.А., Калинина Ю.О. Основные проблемы внедрения ERP-систем на предприятиях России // Информационные системы и технологии, 2008. – № 1-3. – С. 238-241.
2. Рыбников А.И. Система управления предприятием типа МРП. – М.: Азроконсалт, 1999. – 134 с.
3. Савва Т.Ю. Математическое моделирование переработки скоропортящегося сырья // Прикладная математика, управление и информатика: сборник трудов Междунар. молодеж. конф. В 2 т. – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – Т. 1. – С. 256-259.
4. Савва Т.Ю. Разработка математической модели загрузки оборудования на предприятии по переработке скоропортящегося сырья // Информационные системы и технологии, 2012. – № 6(74). – С. 47-56.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с., ил.

Савва Татьяна Юрьевна

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
 Аспирантка кафедры «Информационные системы»
 Тел.: 8 953 620 14 80
 E-mail: t.savva@mail.ru

T.Yu. SAVVA (Post-graduate Student of the Department «Information Systems»)

DEVELOPMENT OF THE ALGORITHMS FOR CONSTRUCTING A MODIFIED PETRI NETS FOR FORMING THE PRODUCTION SCHEDULES FOR THE PLANTS FOR PROCESSING OF FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

In given article the mathematical model of technological processes carried out by the plants for processing of fruit and vegetable raw materials, based on a modified apparatus of Petri nets is described. There are proposed the algorithms for constructing a modified Petri nets for a variety of technological processes for formation of the production schedules for the specified type of plants.

Keywords: *the production schedules; technological processes for processing of fruit and vegetable raw materials; Petri nets.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Savina O.A., Kalinina Yu.O. Osnovny'e problemy' vnedreniya ERP-sistem na predpriyatiyax Rossii // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2008. – № 1-3. – S. 238-241.
2. Ry'bnikov A.I. Sistema upravleniya predpriatiem tipa MRPII. – M.: Azrokonsalt, 1999. – 134 s.
3. Savva T.Yu. Matematicheskoe modelirovanie pererabotki skorportyashhegosya sy'r'ya // Prikladnaya matematika, upravlenie i informatika: sbornik trudov Mezhdunar. molodyozh. konf. V 2 t. – Belgorod: ID «Belgorod», 2012. – T. 1. – S. 256-259.
4. Savva T.Yu. Razrabotka matematicheskoy modeli zagruzki oborudovaniya na predpriyatii po pererabotke skorportyashhegosya sy'r'ya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 6(74). – S. 47-56.
5. Piterson Dzh. Teoriya setej Petri i modelirovanie sistem: per. s angl. – M.: Mir, 1984. – 264 s., il.

УДК 65.011.56

Ю.Б. САВВА

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье описан процесс разработки архитектуры автоматизированной информационной системы оценки технического состояния сложных технических объектов в соответствии с методологией RUP, представлена модель этой системы в виде UML-диаграмм.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система; техническое состояние; EAM, RUP, UML.

ВВЕДЕНИЕ

В России главная причина техногенных катастроф заключается в значительной (50-80%) выработке ресурсов основных фондов [1], а многие важнейшие промышленные объекты работают за пределами проектного ресурса, что является прямой предпосылкой возникновения аварий. Одним из самых действенных способов снижения производственных издержек и предотвращения сбоев в работе предприятия является совершенствование технического обслуживания и ремонтов основных фондов.

Основные фонды предприятий – производственное и вспомогательное оборудования, здания, сооружения и обслуживающие системы – представляют собой сложные технические объекты (СТО). При этом внешняя среда для этих объектов – экологическая и технологическая – все более приобретает свойства нестабильности и неопределенности. Нестабильность проявляется в том, что темпы изменения внешней среды увеличиваются, а неопределенность в том, что ситуации, возникающие в природе и на технических объектах, все чаще становятся неизвестными и плохо прогнозируемыми.

Для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации СТО необходим регулярный контроль и анализ их технического состояния, включающие сбор и обработку значений параметров, характеризующих состояние объектов данного типа. При этом количество таких параметров велико и может достигать нескольких десятков, а с учетом факторов внешней среды – нескольких сотен единиц. Но несмотря на значительное многообразие методов контроля и управления СТО, в настоящее время отсутствуют не только универсальные методы, способные полностью заменить остальные, но и методы, позволяющие на основе зафиксированных значений отдельных параметров получать объективную оценку текущего состояния (ТС) наблюдаемых объектов, а также сделать прогноз развития этого состояния. Связано это не только с высокой сложностью объекта – большим количеством параметров, многообразием связей, множеством режимов функционирования, нелинейным характером протекающих в нем процессов, но и с различием физической природы наблюдаемых и измеряемых параметров, характеризующих состояние объекта.

Существующие автоматизированные системы управления основными фондами – EAM-системы (Enterprise Asset Management) – обеспечивают ведение баз данных по соответствующим характеристикам оборудования, режимам функционирования, ремонтам, обслуживанию, сбору статистики, управлению материально-техническим снабжением. Однако в этих системах отсутствуют средства анализа и прогнозирования технического состояния СТО, а также инструменты обработки значений параметров, характеризующих техническое состояние СТО, представленных слабоформализованными данными.

В этих условиях наиболее актуальной проблемой является разработка и внедрение современных информационных технологий – автоматизированных систем, позволяющих качественно и эффективно решать задачи оценки текущего технического состояния сложных

технических объектов и прогнозирования его изменения в будущем. Использование автоматизированных систем оценки и прогнозирования технического состояния СТО позволит перейти от управления на основе прошлого опыта к стратегическому управлению, позволяющему выявлять тенденции и риски. Это особенно важно в настоящее время, так как своевременное обнаружение и локализация отказов позволит исключить многочисленные аварийные и катастрофические ситуации, участившиеся в последнее время. Исследования [2] показывают, что внедрение ЕАМ-систем позволяет снизить затраты на техническое обслуживание (ТО) СТО на 75%, количество ТО на 50%, а число отказов в работе СТО – на 70% за первый год использования этих систем.

РАЗРАБОТКА ПАКЕТНОЙ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТО

Автоматизированная система оценки и прогнозирования технического состояния СТО предназначена для автоматизации технологического процесса обработки ретроспективных данных наблюдений за этими объектами с целью получения объективных оценок их текущего и прогнозируемого состояний.

Использование этой системы предусматривается для СТО, не оснащенных системами мониторинга их технического состояния с использованием средств автоматической регистрации параметров в режиме реального времени. Но автоматизированная система оценки и прогнозирования технического состояния СТО может быть использована в качестве средства, дополняющего и расширяющего возможности системы мониторинга, работающей в режиме реального времени, так как она позволяет анализировать параметры, для измерения которых либо отсутствует приборная база, либо регистрация таких параметров в режиме реального времени экономически нецелесообразна (например, наличие трещин и выбоин в корпусе СТО). В этом случае для взаимосвязи автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО и системы мониторинга, работающей в режиме реального времени, предусматривается использование интерфейса обмена данными между ними.

Исходя из целевого назначения автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО, в рамках этой системы предусматривается решение следующих задач:

ввод в ЭВМ данных (в т.ч. представленных в нечеткой форме) текущих измерений и наблюдений за обследуемыми СТО;

хранение в базе данных ретроспективных значений параметров обследуемых СТО;

интерпретация нечетких значений параметров СТО, выявляемых в процессе обследования этих объектов;

оценка текущего технического состояния СТО и выдача рекомендаций по его обслуживанию;

прогнозирование технического состояния СТО на заданный интервал времени, в т.ч. предсказание возможности возникновения аварийных ситуаций с целью их предупреждения путем проведения соответствующих профилактических мероприятий.

Разработке автоматизированной системы независимо от ее назначения предшествует этап формирования и анализа требований к этой системе. В соответствии с методологией RUP выявление и систематизация требований к разрабатываемой автоматизированной системе осуществляется путем построения и анализа UML-диаграмм вариантов использования.

Проведенный нами анализ существующего технологического процесса оценки и прогнозирования технических состояний СТО показал, что в нем могут быть задействованы специалисты с разными уровнями квалификации. Работу по оценке технического состояния СТО может выполнять один специалист или коллектив специалистов. Количество специалистов в коллективе зависит от сложности обследуемого объекта и количества

времени, отведенного на экспертизу. Но независимо от числа специалистов, задействованных в процессе оценки и прогнозирования технических состояний СТО, состав работ и последовательность выполнения технологических операций, выполняемых ими при этом, не изменяется. В зависимости от уровня квалификации этих специалистов их можно разделить две группы – экспертов и рядовых оценщиков. Таким образом, в качестве пользователей автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО выступают эксперт (высококвалифицированный специалист в данной предметной области) и оценщик (рядовой исполнитель работ).

Диаграмма прецедентов, показывающая совокупность вариантов использования (прецедентов) автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО, пользователей и отношений между ними, приведена на рисунке 1. Показанные на этой диаграмме прецеденты «Управление работой пользователей» и «Поддержка работоспособности системы», связанные с актером «Системный администратор», не зависят от предметной области и являются обеспечивающими по отношению к использованию автоматизированной системы.

Детализация диаграмм вариантов использования автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО в части ролей эксперта и оценщика приведена на рисунках 2 и 3 соответственно.

Построенные диаграммы позволили идентифицировать актеров (пользователей системы) и семантику их ролей, выявив тем самым контекст системы. Кроме того, эти диаграммы позволяют определить требования к системе и специфицировать желаемое поведение системы независимо от способа ее реализации.

Анализ диаграмм вариантов использования показывает, что автоматизированная система оценки и прогнозирования технического состояния СТО должна обеспечивать возможность ввода, хранения и корректировки атрибутивной (текстовой, цифровой и символьной) и графической информации, анализ текущего и прогнозирование будущего состояний СТО, выдачу рекомендаций для проведения ремонтно-восстановительных работ. При этом взаимодействие эксперта с системой должно осуществляться в режиме активного диалога. Так как эксперты не являются профессиональными пользователями, то интерфейс системы должен в максимальной степени упростить это взаимодействие, но не в ущерб пониманию содержания выполняемых процедур.

К информации, используемой в автоматизированной системе оценки и прогнозирования технического состояния СТО, предъявляются следующие требования:

– релевантность: основное назначение информационных сообщений – снятие неопределенности при оценке и прогнозировании технического состояния СТО. Очевидно, что содержание информации должно соответствовать потребностям решаемых экспертами задач;

– толерантность: эксперты как основные пользователи системы, а также лица, принимающие решения на основе получаемых посредством системы оценок, должны получать информацию в виде, доступном для восприятия без дополнительной интерпретации. Форма представления информации должна соответствовать требованиям нормативно-технических документов, а в случае их отсутствия – сложившимся стереотипам ее восприятия для обеспечения надежности принятия решений;

– репрезентативность: любое явление, факт или сущность должны соответствовать своим оценкам как с точки зрения средств и методов измерения, так и с точки зрения точности, места и времени оценки.

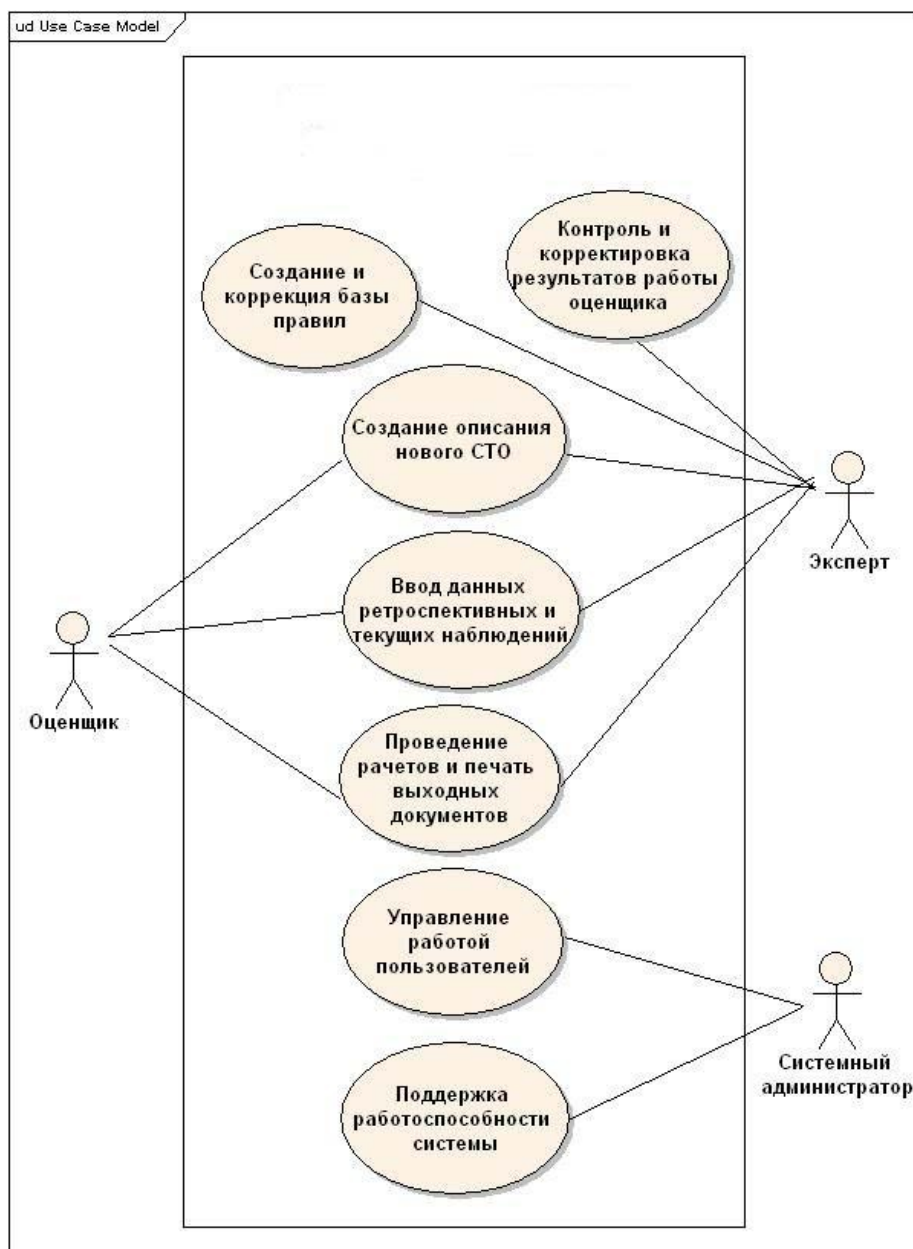


Рисунок 1 – Диаграмма вариантов использования (use case) автоматизированной подсистемы оценки и прогнозирования технического состояния СТО

В результате анализа вариантов использования автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО в системе были выделены следующие пакеты, представленные на рисунке 4:

- UI – пакет реализации пользовательского интерфейса автоматизированной системы;
- UniData – пакет анализа, интерпретации и унификации представления данных наблюдений и измерений;
- DataModel for UI – модель данных, предоставляемая элементам пользовательского интерфейса для визуализации данных и интерактивного управления ими;
- XML-processor – пакет, обеспечивающий процедуры ввода/вывода данных в XML-файл, поиск и изменение необходимых элементов;
- Objects – пакет описания модели данных объектов, хранимых в XML-файлах;
- PCMCIA – пакет, содержащий реализацию программного интерфейса, реализуемого через COM-объект;

- Analysis – пакет, реализующий функции анализа технического состояния СТО;
- Prognosis – пакет, реализующий функции прогнозирования технического состояния СТО;
- Administrations – пакет, реализующий функции администратора по предоставлению прав доступа к функциональным возможностям подсистемы.

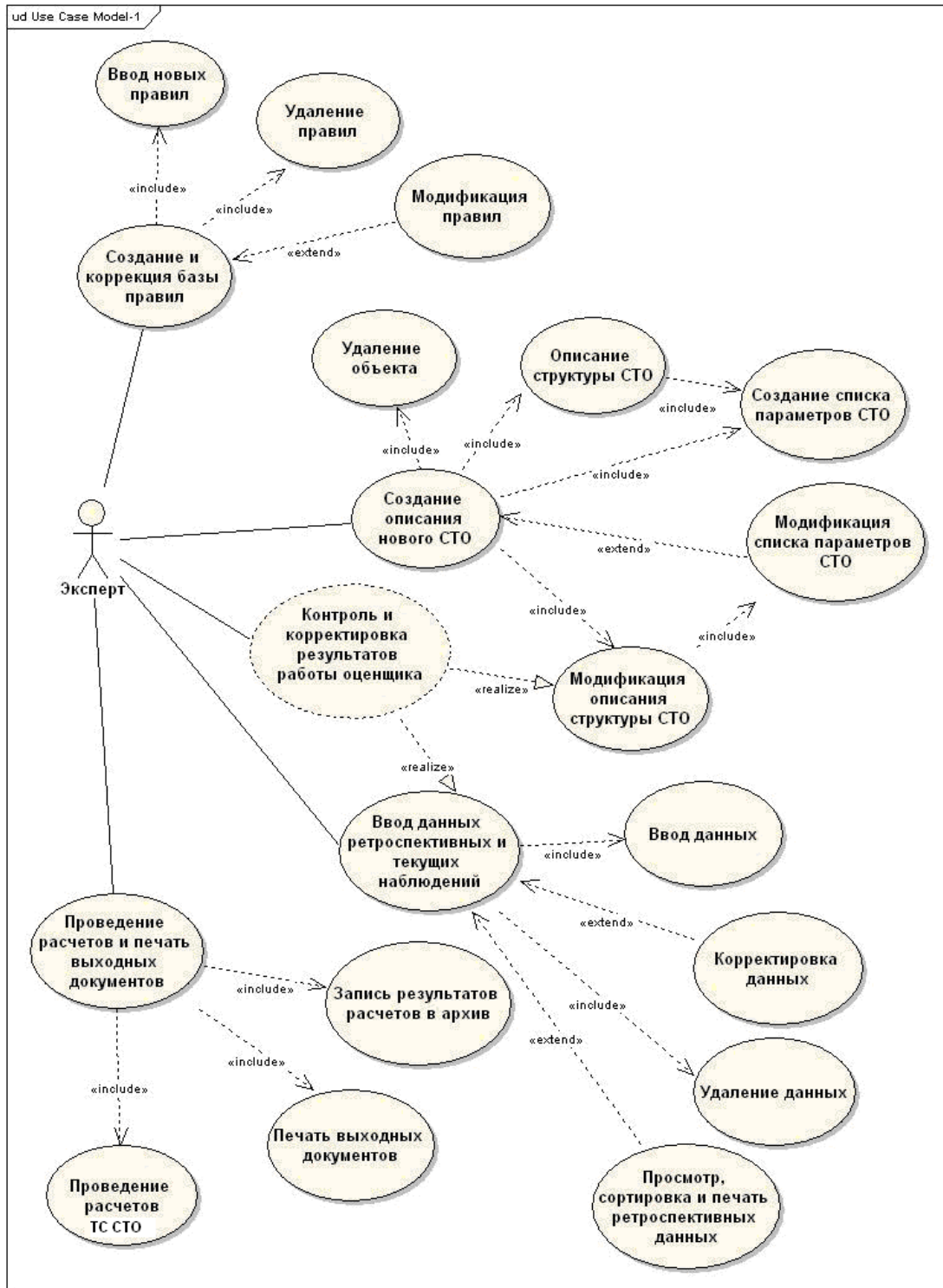


Рисунок 2 – Детализация диаграммы вариантов использования автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО в части роли эксперта

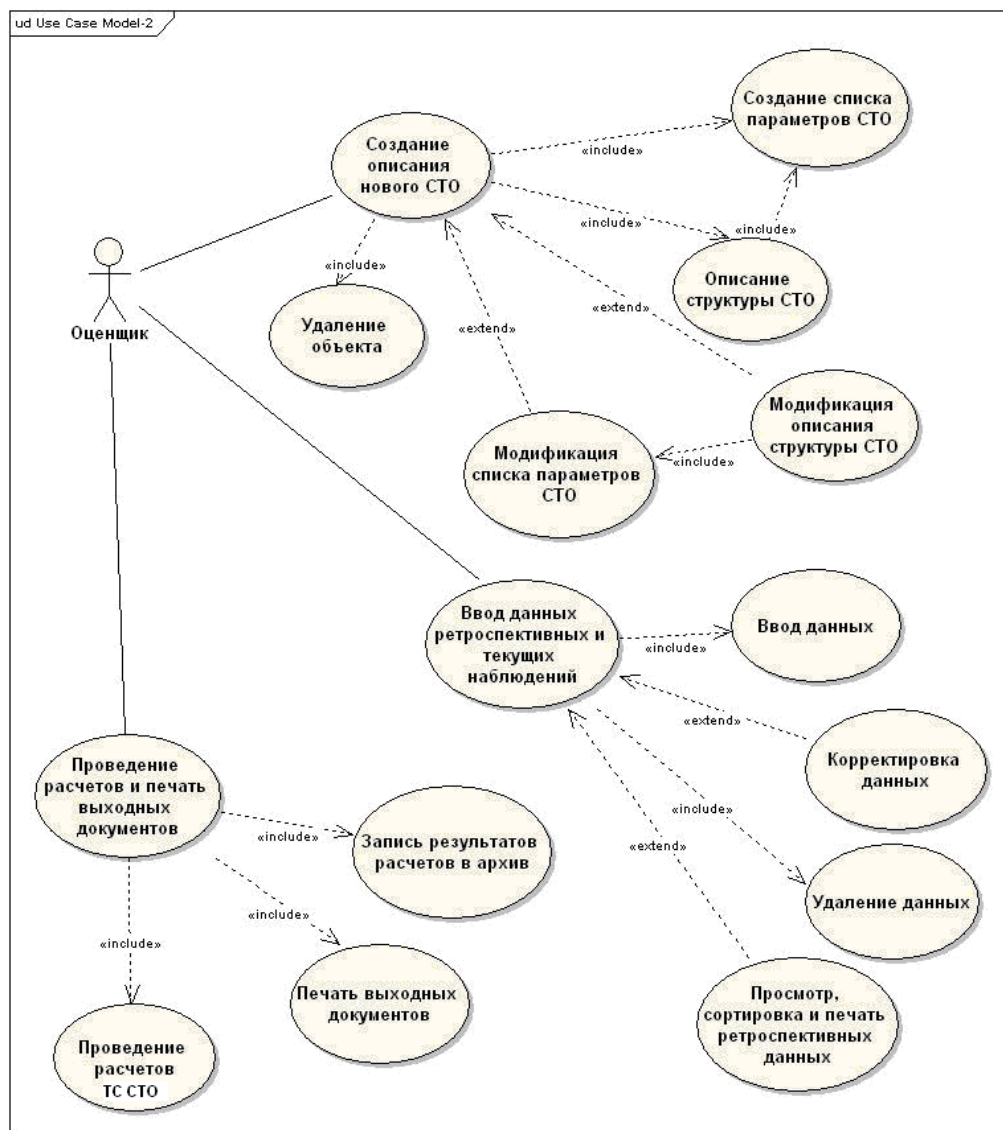


Рисунок 3 – Детализация диаграммы вариантов использования автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО в части роли оценщика

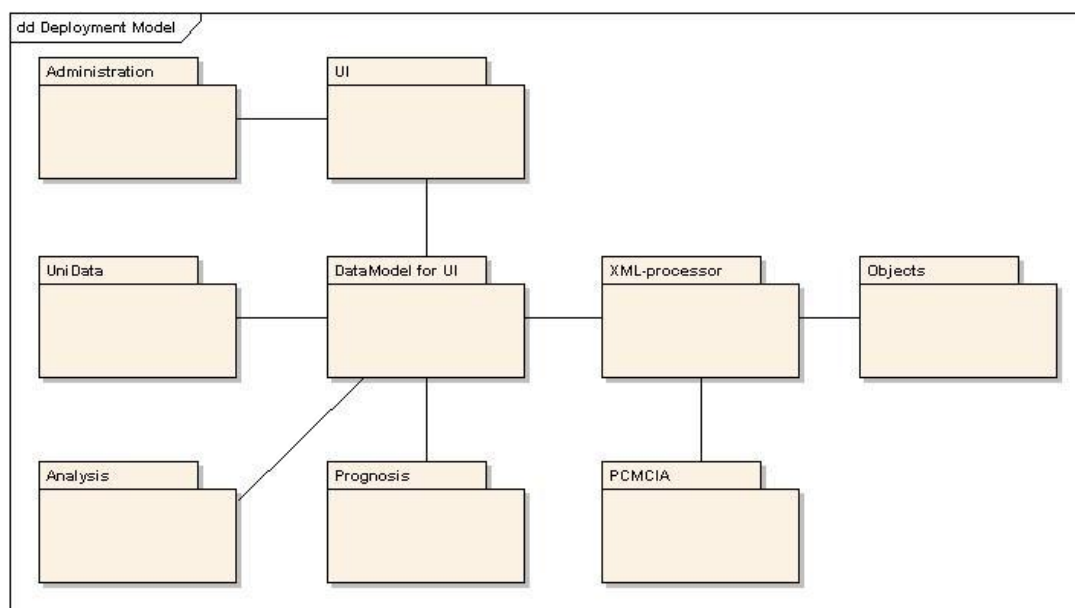


Рисунок 4 – Диаграмма пакетов – визуальная модель структуры автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО

**ПАКЕТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТО (СЕРВЕРНАЯ ЧАСТЬ)**

Сервер содержит список всех пользователей, а также каталог объектов. Через Объектный брокер запросов (ORB) клиентское приложение получает доступ к необходимому объекту. Структура серверной части представлена на рисунке 5.

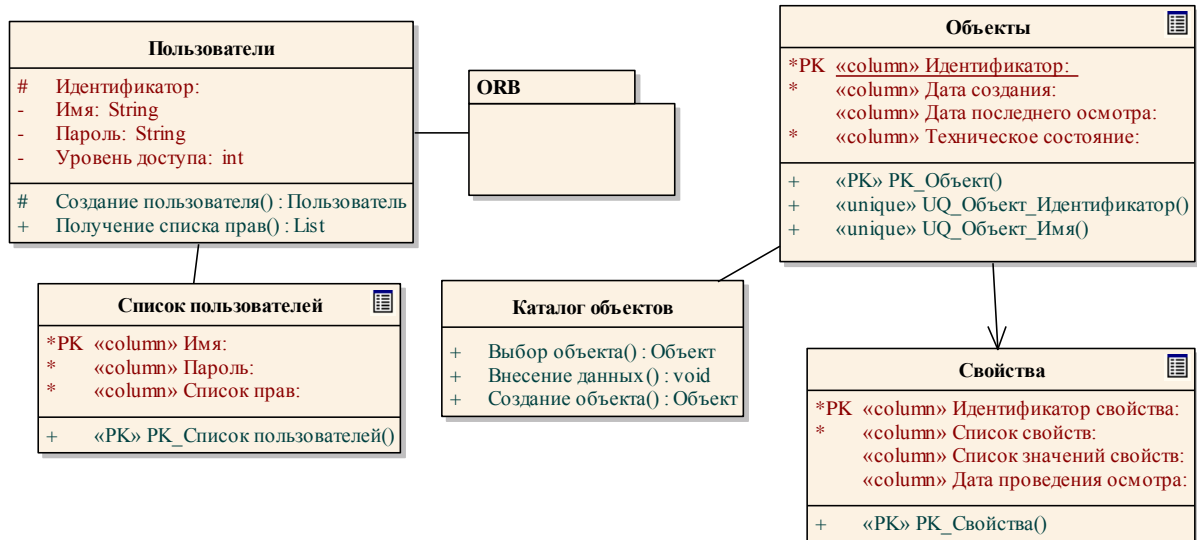


Рисунок 5 – Диаграмма пакетов серверной части

**ПАКЕТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТО (КЛИЕНТСКАЯ ЧАСТЬ)**

Программное обеспечение автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО включает шесть пакетов:

- связь с сервером;
- шкалирование данных. Формирование логической шкалы и правил соответствия реальных физических значений характеристик объекта этой шкале;
- анализ. Осуществление анализа текущего состояния технического объекта, создание прецедентов;
- прогноз;
- хранение и представление информации;
- пакет «XML-обработчик».

Структурная схема пакетной организации программного обеспечения системы представлена на рисунке 6 в виде диаграммы пакетов.

Подробное описание пакета «Шкалирование данных» приведено в работе [3].

Пакет «Связь с сервером» отвечает за поддержку соединения и проведение синхронизации данных с сервером. При прохождении аутентификации пользователей сервер передаёт клиентской программе список прав для текущего пользователя. Эти данные сохраняются в поле «Список прав» класса «Пользователь». Структура пакета «Связь с сервером» представлена на рисунке 7.

Визуальная модель пакета XML-processor представлена на рисунке 8 и содержит в себе классы, реализующие процедуры ввода/вывода данных в XML-файл, поиск и изменение необходимых элементов.

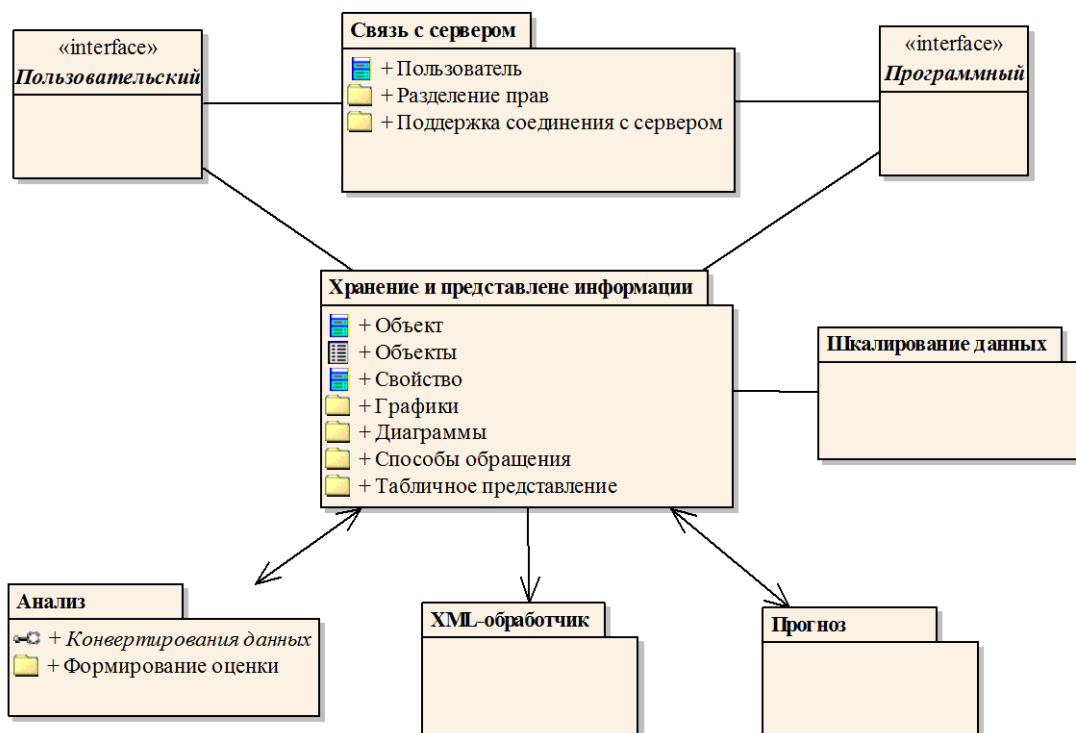


Рисунок 6 – Диаграмма пакетов программного обеспечения автоматизированной системы оценки и прогнозирования технического состояния СТО (клиентская часть)

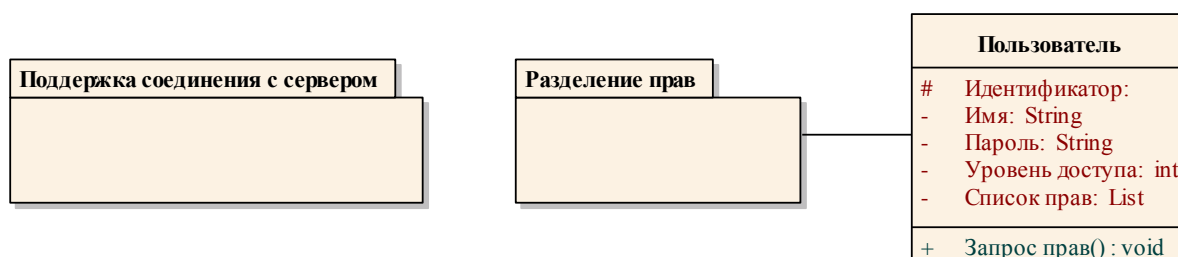


Рисунок 7 – Структура пакета «Связь с сервером»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с разработанной объектно-ориентированной моделью архитектуры реализована автоматизированная информационная система получения оценки и прогноза технического состояния сложных производственных объектов, составляющих основные фонды промышленных предприятий. Путем внесения дополнений в базу данных и правил вывода оценок технических состояний под конкретные производственные технические объекты система должна быть адаптирована для применения в автоматизированных системах управления предприятиями различных отраслей экономики. Внедрение этой системы на предприятии «Электроинструмент» позволило в 2012 году снизить: затраты на техническое обслуживание с 1587 тыс. руб. до 725 тыс. руб. или на 45,6%, количество ТО – с 635 до 359 обслуживаний или на 56,5%, число отказов в работе оборудования – с 201 до 105 или на 52,2% по сравнению с 2011 годом. Количественные значения этих показателей по месяцам приведены на гистограмме (рис. 9).



Рисунок 8 – Диаграмма классов - визуальная модель пакета XML-processor

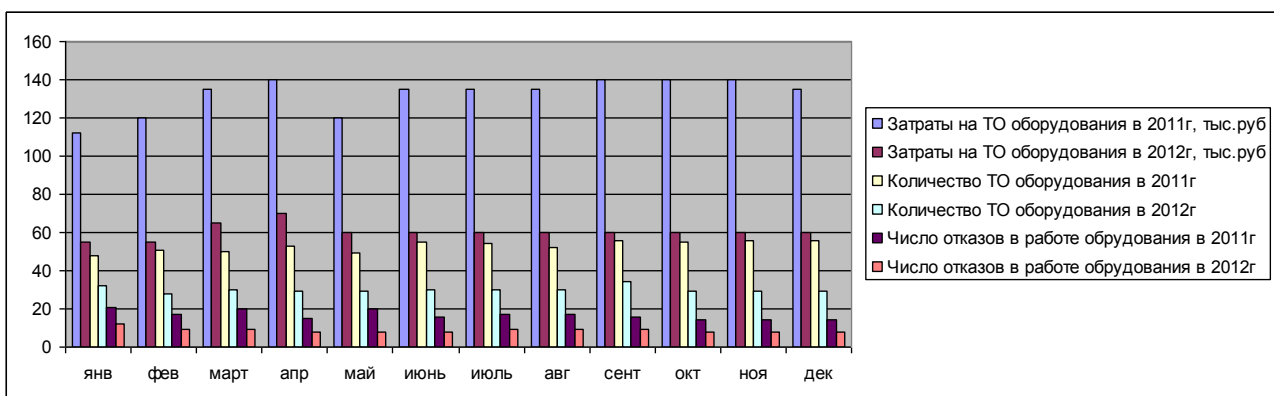


Рисунок 9 – Показатели эффективности внедрения EAM-системы на предприятии «Электрострумент»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев Ю.Л. Проблемы комплексной безопасности в XXI веке // Национальная безопасность и геополитика России, 2001. – № 4-5(21-22). – С. 128-129.
2. Антоненко И.Н. Управление техобслуживанием и ремонтом оборудования: возможности автоматизации // Пищевая промышленность, 2005. – № 12. – С. 36-38.

3. Савва Ю.Б., Семашко Е.А. Подсистема шкалирования нечетких данных для автоматизации оценки технического состояния сложных технических объектов // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии», 2008. – № 1-2/269(544). – С. 179-191.

Савва Юрий Болеславович

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»

Тел.: 8 953 622 93 39

E-mail: su_fio@mail.ru

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

ARCHITECTURAL DESIGN OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR TECHNICAL EVALUATION OF OBJECTS FOR ENTERPRISE ASSET MANAGEMENT

This paper describes the process of developing of architecture an automated information system for evaluation of the technical state of complex technical objects, in accordance with the methodology RUP. The model of this system is presented in the form of UML-diagrams.

Keywords: *automated information system; technical evaluation; EAM; RUP; UML.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Vorob'yov Yu.L. Problemy' kompleksnoj bezopasnosti v XXI veke // Nacional'naya bezopasnost' i geopolitika Rossii, 2001. – № 4-5(21-22). – S. 128-129.
2. Antonenko I.N. Upravlenie texobslyzhivaniem i remontom oborudovaniya: vzmozhnosti avtomatizacii // Pishhevaya promyshlennost', 2005. – № 12. – S. 36-38.
3. Savva Yu.B., Semashko E.A. Podсистема shkalirovaniya nechyotkix dannyx dlya avtomatizacii ocenki texnicheskogo sostoyaniya slozhny'x texnicheskix ob'ektov // Izvestiya OryolGTU. Seriya «Fundamental'ny'e i prikladny'e problemy' texniki i texnologii: informacionny'e sistemy' i texnologii», 2008. – № 1-2/269(544). – S. 179-191.

УДК 621.4

А.В. ЩАГИН, ЙЕ ТУН ТЭЙН, Е.Ю. АМОСОВ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА МОРСКОГО ВОЗДУХА

В данной работе рассматривается задача построения системы автоматической стабилизации температурного режима в реакторе генератора морского воздуха. Повышение точности автоматического поддержания температуры обеспечивает скорость и количество испаряемого материала в единицу времени и тем самым обеспечивает необходимые параметры генератора морского воздуха.

Ключевые слова: система стабилизации; генератор морского воздуха.

Генератор морского воздуха представляет собой прибор, обеспечивающий повышение концентрации субмикронных аэрозольных частиц йодистого калия в помещении до концентрации, приближающейся к концентрациям йодистого калия в морском воздухе.

Реактор установки состоит из полого цилиндра, на который намотана проволока нагревателя, и теплоизолятора, обеспечивающего уменьшение теплотерь в рабочей зоне и защиту от перегрева корпуса генератора морского воздуха.

Между витками нагревателя установлен термоэлектрический преобразователь, служащий источником сигнала обратной связи для системы автоматического управления температурой в рабочей зоне реактора. В реактор устанавливается контейнер с испаряемым материалом.

Количество испаряемого вещества прямо зависит от температуры в реакторе, повышение точности автоматического поддержания температуры обеспечивает заданную концентрацию субмикронных аэрозольных частиц в воздухе помещения.

Математическую модель объекта можно представить в виде системы уравнений [1]

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_1}{dt} &= -\frac{1}{T_1}\theta_1 + \frac{K_1}{T_1}u, \\ \frac{d\theta_2}{dt} &= \frac{1}{T_2}\theta_1 - \frac{K_2}{T_2}\theta_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где θ_1 – отклонение внешней температуры в нагревателе от заданного значения;

θ_2 – отклонение внутренней температуры контейнера с испаряемым веществом от заданного значения (определяется расчетным путем);

T_1 и T_2 – постоянные времени;

U – управляющее воздействие – напряжение, поступающее на нагреватель;

K_1 и K_2 – коэффициенты передач.

Система (1) – линеаризованные уравнения. Значение коэффициента K может зависеть от выбора рабочей точки.

На основании экспериментальных данных зададим параметры выбранного объекта:

$$T_1 = 10 \text{ сек}, \quad T_2 = 20 \text{ сек}, \quad K_1 = 25, \quad K_2 = 1$$

К системе предъявляются следующие требования.

При отсутствии стабилизации могут возникать колебания температуры вследствие неустойчивости температуры окружающей среды и напряжения в питающей сети. Эти колебания являются произвольными функциями, но в соответствии с техническим заданием

(ТЗ) они обладают ограниченными значениями скорости нарастания $\left| \frac{d\theta}{dt} \right| \leq 2^\circ/\text{сек}$ и ускорения $\left| \frac{d^2\theta}{dt^2} \right| \leq 0,25^\circ/\text{сек}^2$. Система автоматической стабилизации должна компенсировать эти колебания температуры с точностью до $0,2^\circ\text{С}$.

В соответствии с ТЗ система автоматической стабилизации должна обеспечить нарастание или снижение температуры с постоянной скоростью $15^\circ/\text{сек}$, при этом ошибка воспроизведения не должна превышать 1°С .

При ступенчатом изменении задания температуры в пределах линейной зоны время регулирования должно быть не более 15 секунд.

Наибольшая величина перерегулирования температуры должна быть не более 20%. Передаточная функция объекта имеет вид

$$W(p) = \frac{K_1 K_2}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{\theta_2(p)}{U(p)}. \quad (2)$$

Для выбора желаемой логарифмической амплитудной частотной характеристики (Л.А.Х) в области низких частот воспользуемся известными методами [2].

Для выполнения первого требования необходимо чтобы Л.А.Х разомкнутой системы не заходила в запретную зону. Запретная зона представляет собой область, ограниченную двумя дугами с наклоном $-20\text{дб}/\text{дек}$ и $-40\text{дб}/\text{дек}$, пересекающимися в точке с абсциссой

$$\omega_k = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ } 1/\text{сек} \text{ и ординатой } 20\lg|W| = 20\lg \frac{2^2}{(0,2) \cdot (0,25)} = 38\text{дб} \text{ (рис. 1)}.$$

При этом астатизм системы не менее 1.

Для обеспечения второго условия принимаем порядок астатизма равным 1. Начальный участок Л.А.Х должен пересекать ось 0 дб при своем продолжении правее частоты $\frac{15}{1} = 15 \text{ } 1/\text{сек}$.

Как видно из рисунка 1, начальный участок Л.А.Х не заходит в запретную зону.

Для уменьшения полосы пропускания изменим наклон Л.А.Х с $-20\text{дб}/\text{дек}$ на $-40\text{дб}/\text{дек}$. При этом точку излома совместим с точкой излома Л.А.Х объекта

$$\omega = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ } 1/\text{сек} \text{ и участок с наклоном } -40\text{дб}/\text{дек} \text{ совместим с границей запретной зоны.}$$

Логарифмическая частотная характеристика разомкнутой системы (рис. 1) состоит из двух участков: участок с наклоном $-20\text{дб}/\text{дек}$, пересекающий ось 0 дб на частоте $25 \text{ } 1/\text{сек}$, и

участок с наклоном -40 дБ/дек , пересекающийся с первым участком на частоте $0,05 \text{ 1/сек}$.
 Второй участок пересекает ось 0 дБ при своем продолжении на частоте $\omega_0 = 1,12 \text{ 1/сек}$.

Такой выбор Л.А.Х на низких частотах обеспечивает выполнение требований 1 и 2 технического задания и малую полосу пропускания.

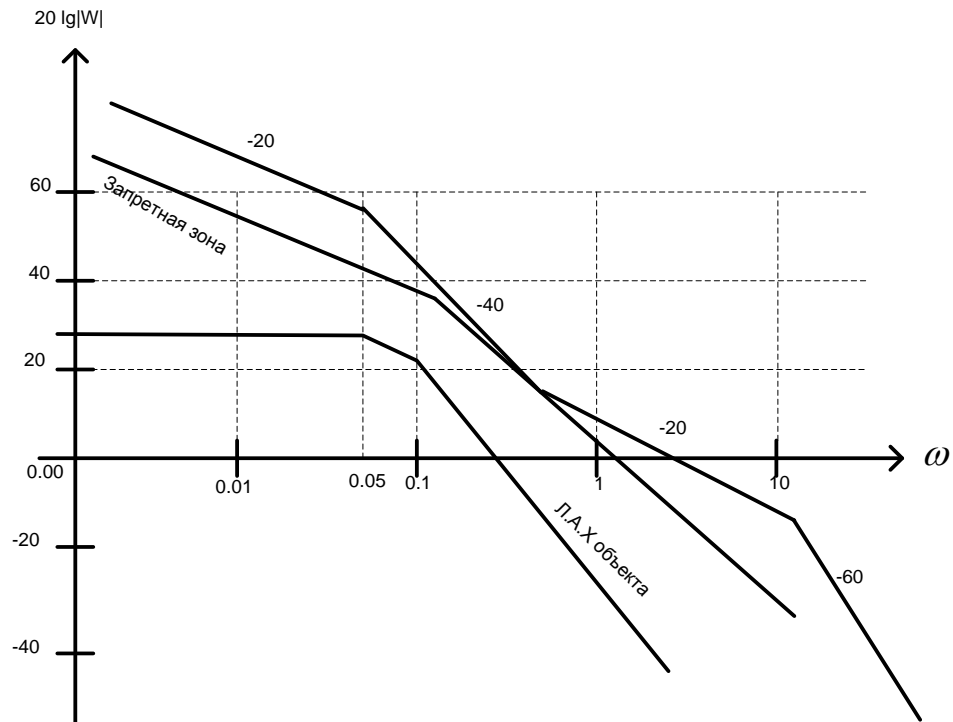


Рисунок 1 – Логарифмическая частотная характеристика разомкнутой системы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ РЕГУЛЯТОРА

По Л.А.Х. разомкнутой системы определяем её передаточную функцию:

$$W = \frac{25 \left(\frac{P}{0,33} + 1 \right)}{P \left(\frac{P}{0,05} + 1 \right) \left(\frac{P}{14,1} + 1 \right)^2} = \frac{25(3P + 1)}{P(20P + 1)(0,07P + 1)^2}. \quad (3)$$

Передаточная функция объекта

$$W_{об} = \frac{20}{(5P + 1)(10P + 1)}. \quad (4)$$

Тогда передаточная функция регулятора

$$W_{рег} = \frac{W}{W_{об}} = \frac{5(3P + 1)(10P + 1)}{P(0,07P + 1)^2 4}. \quad (5)$$

Эта передаточная функция отображает пропорционально-интегральный регулятор

$$\frac{10P + 1}{P} = 10 + \frac{1}{P} \quad (6)$$

и последовательно включенное фазопережающее (форсирующее) звено с передаточной функцией

$$\frac{3P + 1}{0,07P + 1}. \quad (7)$$

Оставшийся множитель с передаточной функцией

$$\frac{5}{(0,07P + 1)^4} \quad (8)$$

определяет допустимую инерционность регулятора и исполнительных устройств.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ

Поскольку зависимость между показателем колебательности и перерегулированием, а также оценка времени переходного процесса являются приближенными, то требуется вычислить переходный процесс и убедиться в правильности расчетов, т.е. в выполнении задания. Это может быть сделано с помощью программного комплекса Matlab (рис. 2).

$$W = \frac{75P + 25}{0,1P^4 + 3,29P^3 + 20,14P^2 + P} \quad (9)$$

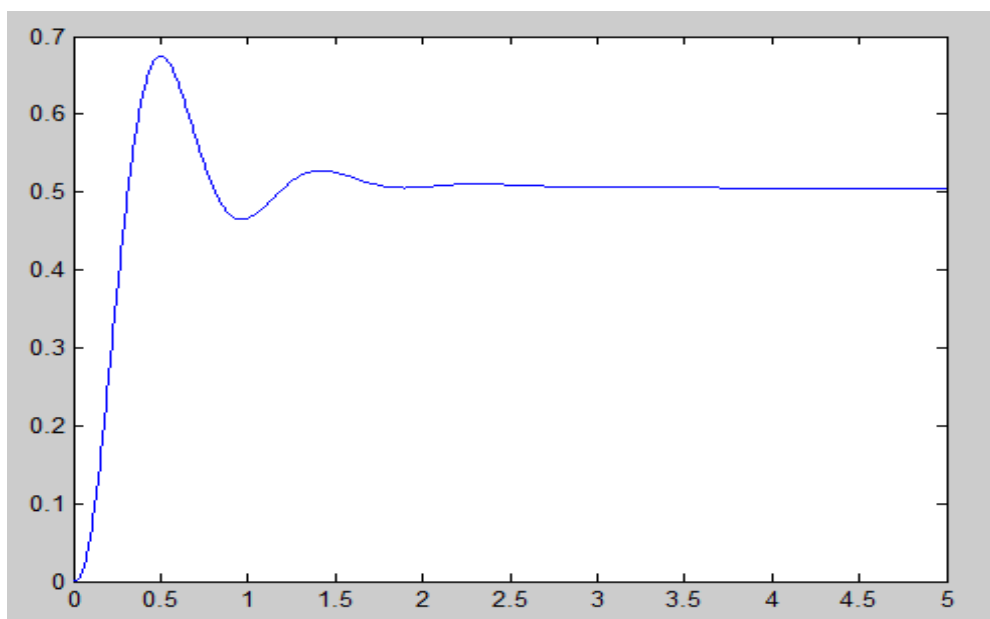


Рисунок 2 – Переходной процесс

Время переходного процесса 3 сек, а перерегулирование не превышает 17%. Это удовлетворяет техническому заданию.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ПО ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ

Определить параметры объекта можно по переходной функции, т.е. реакции системы, находившейся в покое, на ступенчатый сигнал. Определить переходную функцию объекта можно экспериментально в разомкнутой системе.

Эксперимент проводится следующим образом.

Устанавливается и стабилизируется состояние объекта, соответствующее рабочей точке. Фиксируется значение выходного сигнала, и значение сигнала на блоке управления нагревателем.

Устанавливается и фиксируется измененная на 10% температура объекта и запоминаются значения сигнала термопары и сигнала на блоке управления нагревателем.

Система возвращается в рабочую точку, отключается обратная связь и на блок управления нагревателем подается сигнал (уставка), соответствующий изменению температуры на выбранную величину.

Процесс изменения регистрируется во времени. Для объекта с передаточной функцией при ступенчатом сигнале и переходная функция имеет вид

$$h(t) = Ku \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right). \quad (10)$$

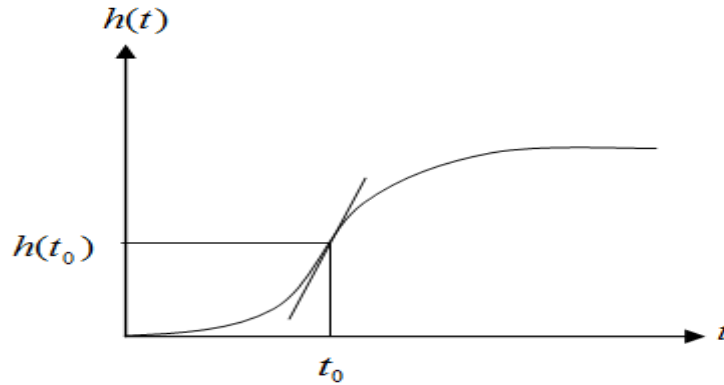


Рисунок 3 – График переходной функции

График переходной функции приведен на рисунке 3. Установившееся значение $h_{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) = Ku$. Поделив, получим график приведенной переходной характеристики

$$h' = h/h_{уст}, \quad h' = 1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (11)$$

В точке t_0 график переходной функции имеет перегиб. Тогда

$$\frac{d^2 h'}{dt^2} \Big|_{t=t_0} = -\frac{e^{-\frac{t_0}{T_1}}}{T_1(T_1 - T_2)} + \frac{e^{-\frac{t_0}{T_2}}}{T_2(T_1 - T_2)} = 0 \quad (12)$$

или

$$\frac{e^{-\frac{t_0}{T_1}}}{T_1} = \frac{e^{-\frac{t_0}{T_2}}}{T_2}. \quad (13)$$

Отсюда находим

$$h'(t_0) = 1 + \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_0}{T_1}} + \frac{T_2^2}{(T_1 - T_2)T_1} e^{-\frac{t_0}{T_1}} = 1 - \frac{T_1 + T_2}{T_1} e^{-\frac{t_0}{T_1}}. \quad (14)$$

Угол наклона касательной в точке перегиба равен

$$\frac{dh'}{dt} \Big|_{t=t_0} = \frac{1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_0}{T_1}} - \frac{1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_0}{T_2}}. \quad (15)$$

Подставив (14) в (15), получаем

$$\frac{dh'}{dt} \Big|_{t=t_0} = \frac{1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t_0}{T_1}} - \frac{T_2}{(T_1 - T_2)T_1} e^{-\frac{t_0}{T_1}} = \frac{1}{T_1}. \quad (16)$$

Измерив значение $t_0, h'(t_0), \frac{h'(t_0)}{dt_0}$ и подставив в уравнение (13), находим T_1 и T_2 .

На рисунке 4 показана общая схема устройства управления нагревательной установкой.

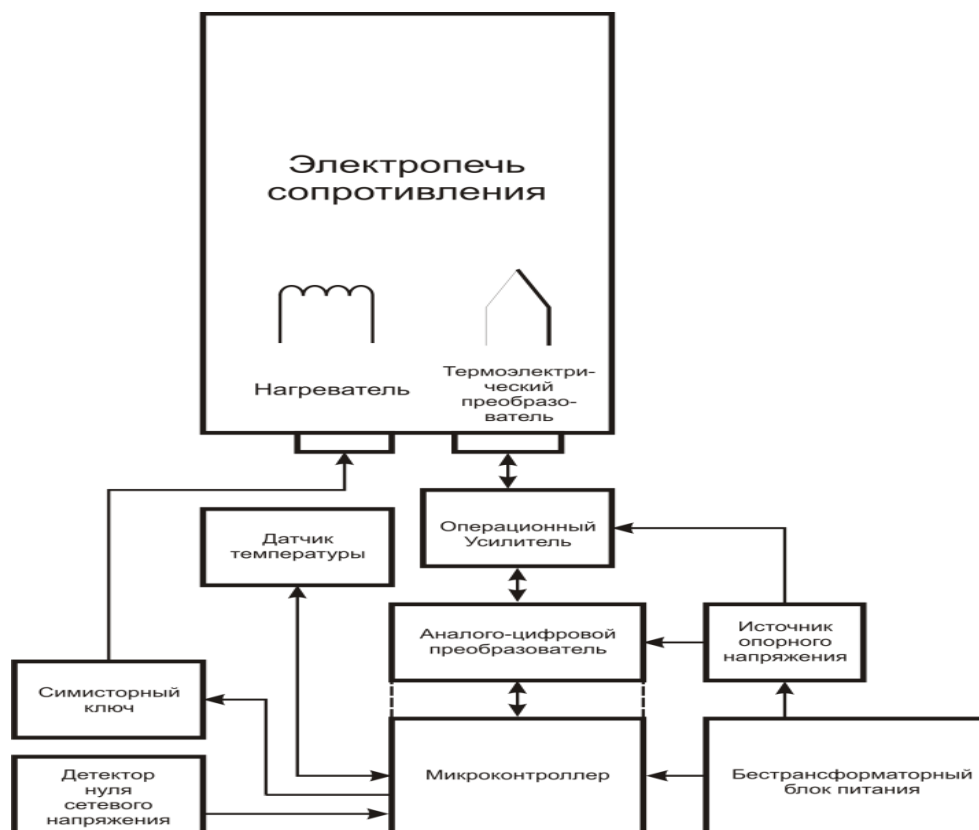


Рисунок 4 – Блок схема устройства

Сигнал с термоэлектрического преобразователя (термопары) поступает на операционный усилитель. После операционного усилителя сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера. На второй вход АЦП поступает напряжение с опорного источника, которое используется для тестирования устройства. Алгоритм микроконтроллера через равные промежутки времени осуществляет опрос АЦП и с учетом значения дополнительного датчика температуры пересчитывает полученное значение в реальное значение температуры. Дополнительный датчик температуры располагается очень близко к свободным концам термопары и используется для компенсации холодного спая термопары для того, чтобы убрать погрешность измерения. На основании полученных и накопленных данных с использованием заложенного в микроконтроллер алгоритма последний вырабатывает импульсный сигнал управления нагревателем. Управление нагревателем осуществляется через симистор, угол включения которого изменяется системой управления. Момент начала включения и выключения симистора определяется относительно нуля синусоиды переменного напряжения детектором нуля. Питание микроконтроллера в целях снижения стоимости системы и ее размеров осуществляется при помощи бестрансформаторного блока питания, что в свою очередь накладывает свои правила безопасности на ее использование. Таким образом, путем импульсного регулирования можно получить плавное регулирование мощности в широких пределах без дополнительных потерь, обеспечивая соответствие потребляемой печью и подводимой из сети мощностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на основании проведенных исследований получены следующие результаты:

- получена линеаризованная математическая модель установки, обоснованы технические требования к системе управления и определены возмущающие воздействия. По этим данным сформулировано техническое задание на систему управления;

– исходя из технического задания, методом логарифмических частотных характеристик определен закон управления в виде передаточной функции регулятора. Оказалось, что регулятор может быть реализован в форме последовательного соединения ПИ-регулятора и форсирующего звена. Результаты расчета подтверждены моделированием переходного процесса на компьютере;

– на основе полученной математической модели была создана реальная система управления нагревателем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пузырев В.А. Управление технологическими процессами производства микроселектронных приборов. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – Изд. 4-е, перераб. и доп.– СПб: Изд-во: «Профессия», 2004. – 752 с.

Щагин Анатолий Васильевич

Национальный исследовательский университет (МИЭТ), Москва

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматического управления и контроля

Тел.: 8 (499) 720-87-95

Йе Тун Тэйи

Национальный исследовательский университет (МИЭТ), Москва

Магистр техники и технологии, аспирант кафедры систем автоматического управления и контроля

Тел.: 8 965 130 96 78

Амосов Евгений Юрьевич

Национальный исследовательский университет (МИЭТ), Москва

Магистр техники и технологии, аспирант, кафедры систем автоматического управления и контроля

A.V. SHhAGIN (Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Automatic Control and Monitoring)

JE TUN TEJN (Master of Engineering and Technology, Post-graduate Student of the Department of Automatic Control and Monitoring)

*E.Yu. AMOSOV (Master of Engineering and Technology, Post-graduate Student of the Department of Automatic Control and Monitoring)
National Research University (MIET), Moscow*

MODEL AND AUTOMATIC STABILIZATION SYSTEM OF THE TEMPERATURE REGIME IN THE SEA AIR GENERATOR

The problem of developing the automatic stabilization system of the temperature regime in the reactor of the sea air generator is considered. Increasing the accuracy of the automatic temperature control provides the speed and the amount of the evaporated material per unit of time and thus provides the necessary parameters of the sea air generator.

Keywords: *stabilization system; sea air generator.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Puzy'rev V.A. Upravlenie texnologicheskimi processami proizvodstva mikroelektronny'x priborov. – М.: Radio i svyaz', 1984. – 160 s.
2. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtometicheskogo upravleniya. – Izd. 4-e, pererab. i dop.– SPb: Izd-vo: «Professiya», 2004. – 752 s.

УДК 658.512.6

В.Н. ВОЛКОВ, А.А. СТЫЧУК, А.А. КОТЛЯР

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЯЕМЫХ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ХОДА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ

В статье рассмотрено использование стандартных методологий управления портфелем проектов предприятия в процессах управления электронными услугами населению, а также преимущества и недостатки концепции управляемых контрольных точек применительно к данным процессам.

Ключевые слова: электронные услуги населению; управление проектами; управляемая контрольная точка.

В последние годы в рамках формирования информационного общества в России возникла острая потребность в развитии и распространении электронных услуг. В процессе предоставления и сопровождения электронных услуг населению одной из основных целей является разработка системы и технологии контроля качества предоставления электронных услуг населению [1]. Одной из концепций, использование которых предполагается в процессе контроля качества, является концепция управляемых контрольных точек (managed milestones).

Прежде всего, необходимо определить, что из себя представляет такой элемент, как управляемая контрольная точка, и в чем ее отличие от обычной контрольной точки или вехи (milestone).

Само понятие «контрольная точка» или «веха» (milestone) наиболее распространено в современных системах управления проектами и означает ключевой этап, переход на новую стадию в плане разработки. Как правило, этим этапом является завершение какого-либо ключевого мероприятия, подписание важных документов или любые другие значительные действия, предусмотренные планом проекта. Сдвиг контрольной точки приводит к сдвигу всего проекта, поэтому данное событие всегда крайне нежелательно, обычно оно сопровождается ущербом для исполнителя (финансовые штрафы, урон деловой репутации и т.д.). Подробнее об ответственности исполнителей будет изложено далее.

В последние годы все больше крупных компаний отказываются от классической методологии управления проектами, во многом построенной на контроле и согласовании промежуточных результатов, и переходят к управлению портфелем проектов через методологию «контрольных точек».

Здесь следует понимать, что говоря о проектах, мы говорим не только о таком виде деятельности, как разработка. Само понятие «проект» в ISO 21500 определяется как уникальный набор процессов, состоящих из скоординированных и управляемых задач с начальной и конечной датами, предпринятых для достижения цели. Достижение цели проекта требует получения результатов, соответствующих определенным заранее требованиям, в том числе ограничениям на получения результатов, таких, как время, деньги и ресурсы. Таким образом, деятельность любой компании, будь то производство товаров, оказание услуг или решение разных внутренних производственных задач (повышение качества продукции и эффективности организации труда, оптимизация финансовых потоков и т.д.) представляет собой реализацию различных проектов, а управление проектами является важнейшей частью системы менеджмента предприятия.

Итак, обычная контрольная точка – это пассивный элемент, это самая обычная веха. Однако дело как раз в том, что для полноценного управления нужна не пассивная контрольная точка, а управляемая контрольная точка (managed milestone). В методологии Microsoft Project этот элемент для манипулирования с контрольными точками называется Deliverables или «конечные результаты». Термин был выбран так потому, что термин контрольная точка уже занят для вех (milestone). Здесь следует отметить, что на рынке систем управления проектами Microsoft является монополистом по части малых и однопользовательских решений и лидером в случае корпоративных систем, поэтому методология Microsoft де-факто является стандартом для современных систем управления проектами, особенно с учетом того, что, кроме очень понятной визуализации для руководства методология контрольных точек дает существенный набор преимуществ, таких, как:

- соответствие модели качества ISO;
- встроенная методология актуализации планов и обеспечения надежности информации;
- журналирование всех запросов на изменение;
- произвольная консолидация без ломки исторически сложившихся планов;
- согласование всех изменений по плану проекта;
- высокий уровень контроля за рисками;
- интеграция с методологией планирования ресурсов сверху вниз.

В случае с «классическими» услугами, оказываемыми непосредственно компанией потребителю, процесс оказания услуги, по сути, является типичным проектом в рамках портфеля проектов компании; поскольку модель Microsoft Project универсальна и оптимальна везде, где нужно координировать работу нескольких подразделений компании, она вполне может быть применима. Однако есть существенное различие между «классической услугой» и электронными услугами.

В соответствии с эталонной моделью структуры сервиса электронных услуг населению помимо заказчика (стороны, получающей услугу) и поставщика (стороны, непосредственно выполняющей услугу) имеется также третья сторона, называемая производителем электронной услуги [4]. Основное предназначение этой стороны – обеспечение организационно-технической и информационной поддержки оказания услуги, а также контроль хода выполнения всех работ, осуществляемых в процессе оказания электронной услуги. Неотъемлемым аспектом процесса предоставления электронных услуг является его иерархическая структура. Иначе говоря, каждая предоставляемая услуга может быть как частью другой, более сложно организованной услуги, так и наоборот, включать в себя некоторые более простые услуги. Соответственно, работы по любой из этих более простых услуг могут быть делегированы компании-подрядчику, которая также, в свою очередь, может быть производителем электронных услуг населению, также может предоставить выполнения работ по услуге компании-подрядчику и т.д.

Таким образом, основным различием между принципами управления портфелем проектов предприятия и управления процессами предоставления электронных услуг [2], которое, собственно, и не позволяет применить типовые методики управления проектами в случае предоставления электронных услуг, является формальная независимость поставщиков услуг от организации-производителя, предоставляющей сервис электронных услуг конечному потребителю. Это существенно осложняет реализацию механизмов контроля любого уровня, поскольку любая типовая процедура контроля – от организации канала обратной связи до применения штрафных санкций – будет связана цепочкой согласований, что, в свою очередь, приводит к увеличению временных задержек, повышенному документообороту, даже использование систем электронного документооборота способно лишь частично решить эту проблему.

Например, если поставщик услуги нарушает контрольные сроки выполнения работ, это, прежде всего, требует пересмотра графика проведения работ по услуге. Во многих

случаях возможен простой временной сдвиг графика, но могут потребоваться и более сложные действия, например, пересмотр запланированных работ и поиск другого поставщика, оформление компенсаций потребителю услуги, наложение штрафных санкций на поставщика и т.д. Следовательно, контрольная точка, обозначающая конкретный этап оказания услуги, должна обладать достаточным функционалом, чтобы запустились соответствующие процессы согласования, требуемые процедуры соглашения об уровне предоставления услуги (если таковое используется) и т.д. Большинство таких процедур, как правило, сопровождаются какой-либо документацией – как внутрикорпоративной, так и внешней.

Из вышеизложенного достаточно очевидно следует, что именно управляемые контрольные точки могут стать главным связующим звеном для системы контроля хода выполнения электронных услуг, системы управления взаимоотношениями с клиентами (CRM) и системы электронного документооборота организации, предоставляющей сервис электронных услуг.

Для обеспечения достаточного уровня интеграции связываемых систем управляемые контрольные точки должны включать в себя как минимум следующие категории элементов: статические элементы – все то, что раз и навсегда задается при создании управляемой контрольной точки, является ее неотъемлемыми атрибутами и не может изменяться ни одной из информационных систем (например, такие атрибуты, как уникальный идентификатор, инициатор процесса, дата заключения договора и т.д.);

динамические элементы – атрибуты, значение которых может меняться в процессе жизненного цикла услуги, управление которыми осуществляется посредством одной из связываемых систем (состояние, критичность, контрольные и фактические сроки выполнения и т.д.);

активные элементы (сценарии согласований, сценарии управления уровнем обслуживания, сценарии вызова процедур связываемых систем и т.д.).

Как уже было сказано ранее, современные системы управления проектами, такие, как Microsoft Project, имеют собственные элементы для работы с управляемыми контрольными точками (примером могут послужить Deliverables). С одной стороны, Deliverables зачастую используется компаниями для управления портфелем проектов, но самими контрольными точками в таком случае управляют специальные дополнительные компоненты к MS Project, которые кроме простейшей синхронизации с задачами еще должны уметь делать очень многое: содержать в себе готовые рабочие процессы согласования изменений (workflow), автоматически посылать запросы на изменения, интегрироваться с бюджетными ресурсами, уметь управлять изменениями в финансах и объемах ресурсах и т.д. Сама по себе управляемая контрольная точка в программном продукте по управлению проектами не является полноценным решением поставленных перед таким объектом задач, а также обладает рядом недостатков, выявленных партнерами Microsoft в управлении проектами:

- использование для расчета расписаний в MS Project возможно только через ручные синхронизации контрольных точек;
- закрытый исходный код интерфейса делает невозможным доработки «под себя»;
- принятие обновления состояния контрольной точки в план проекта требует множества манипуляций;
- отсутствуют графические индикаторы состояния процесса согласования контрольной точки;
- отсутствует возможность назначения контрольной точки исполнителю;
- неявная процедура согласования изменения контрольной точки;
- отсутствует процесс приемки результатов, и, как следствие, нет передачи сигнала и статуса исполнения между уровнями;
- при протоколировании действий по контрольным точкам записывается только время и автор изменений, но не сами изменения;

– нет возможности комментировать изменения, отсутствует функция «переписки» по согласованию;

– нет возможности выгрузки журнала в табличном виде для последующего анализа.

Выявлено было также и множество других недостатков, не позволяющих полноценно использовать готовые элементы типа Deliverables для управления портфелем проектов, но если в качестве проектов рассматривать процессы предоставления электронных услуг, то наиболее существенными будут именно перечисленные пункты.

Учитывая эти существенные недостатки готовых решений, реализующих методологию контрольных точек, можно прийти к выводу о практической невозможности использования методологии контрольных точек Microsoft Project для управления электронными услугами населению [3]. Однако не следует забывать, что сама по себе концепция управляемых контрольных точек обладает рядом неоспоримых преимуществ, зачастую делающих ее единственно возможным выбором, особенно в случае управления сложными проектами, имеющими многоуровневую иерархию (электронные услуги потенциально относятся именно к таким проектам). Все же вышеперечисленные минусы программных продуктов по управлению проектами, на самом деле, присутствуют по причине неполноценности существующих реализаций этой концепции, но не ее фундаментальных изъянов. Достаточно очевидно из этого следует:

1. Концепция управляемых контрольных точек – оптимальная для системы контроля хода выполнения электронных услуг населению, поэтому именно эта концепция должна послужить основой для практических реализаций подобной системы.

2. Ни один из готовых коммерческих продуктов не предоставляет достаточный функционал для полноценного управления проектами (электронными услугами) через контрольные точки.

Эти выводы приводят к заключению: концепция управляемых контрольных точек может быть применима в системе контроля хода выполнения электронных услуг населению с не меньшей эффективностью, чем в системах управления проектами. Основным препятствием здесь является невозможность использования готовых решений типа Microsoft Project и необходимость разработки собственных решений, реализующих требуемый функционал в рамках системы контроля хода выполнения электронных услуг. Подобная «кастомизация» вышеозначенной концепции позволит нивелировать все возможные недостатки управляемых контрольных точек и в полной мере раскрыть все их ключевые преимущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В.Н. Контроль хода оказания электронных услуг населению // Информационные системы и технологии: материалы Международной научно-технической интернет-конференции: в 3-х томах. – Т. 1. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011. – С. 7-10, 188 с.
2. Константинов И.С. Анализ и обобщение принципов организации обслуживания населения с применением технологии удаленного доступа / И.С. Константинов, В.Н. Волков, А.А. Стычук // Информационные системы и технологии, 2011. – № 5(67). – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011. – С. 78-85.
3. Волков В.Н. Автоматизация построения регламентов электронных услуг населению / В.Н. Волков, В.И. Загрядский, А.И. Фролов // Информационные системы и технологии, 2012. – № 3. – С. 5 – 9.
4. Константинов И.С. Подходы к созданию и инструментальному сопровождению бизнеса предоставления электронных услуг населению в современной России / И.С. Константинов, О.А. Ивашук, В.Н. Волков // Информатизация образования и науки, 2012. – № 1(13). – Раздел «Управление в социальных и экономических системах». – С. 161-175.

Волков Вадим Николаевич
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы»
Тел.: 8 (4862) 43-09-44
E-mail: vadimvolkov@list.ru

Стычук Алексей Александрович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы»
Тел.: 8 (4862) 43-09-44
E-mail: stichuck@rambler.ru

Котляр Андрей Андреевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел
Аспирант кафедры «Информационные системы»
Тел.: 8 (4862) 76-19-10
E-mail: akotlass@yandex.ru

V.N. VOLKOV (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Information Systems»*)

A.A. STY'CHUK (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Information systems»*)

A.A. KOTLYaR (*Post-graduate Student of the Department «Information systems» State University – ESPC, Orel*)

THE MILESTONES APPROACH TO ELECTRONIC SERVICES TO THE POPULATION

Use of standard methodologies of management by a portfolio of projects of the enterprise in management of electronic services to the population, advantages and shortcomings of the concept of operated control points in relation to these processes

Keywords: *electronic services; control; milestones.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Volkov V.N. Kontrol' xoda okazaniya e'lektronny'x uslug naseleniyu // Informacionny'e sistemy' i texnologii: materialy' Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj internet-konferencii: v 3-x tomax. – T. 1. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2011. – S. 7-10, 188 s.
2. Konstantinov I.S. Analiz i obobshhenie principov organizacii obsluzhivaniya naseleniya s primeneniem texnologii udalonnogo dostupa / I.S. Konstantinov, V.N. Volkov, A.A. Sty'chuk // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 5(67). – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2011. – S. 78-85.
3. Volkov V.N. Avtomatizaciya posyroeniya reglamentov e'lektronny'x uslug naseleniyu / V.N. Volkov, V.I. Zagryadczkij, A.I. Frolov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 3. – S. 5 – 9.
4. Konstantinov I.S. Podxody' k sozdaniyu i instrumental'nomu soprovozhdeniyu biznesa predostavleniya e'lektronny'x uslug naseleniyu v sovremennoj Rossii / I.S. Konstantinov, O.A. Ivashhuk, V.N. Volkov // Informatizaciya obrazovaniya i nauki, 2012. – № 1(13). – Razdel «Upravlenie v social'ny'x i e'konomicheskix sistemax». – S. 161-175.

УДК 004.02

Е.Ю. ГОЛУБИНСКИЙ

**МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОДГОТАВЛИВАЕМЫХ
В ИНТЕРЕСАХ ОРГАНОВ ВЛАСТИ**

Рассмотренная в статье методика аналитического мониторинга качества информационно-аналитических материалов, подготовливаемых в интересах органов власти, предназначена для использования в деятельности по управлению качеством информационной продукции. Автором также предлагается подход к структуризации и хранению информации, используемой при проведении анализа качества информационно-аналитических материалов, и результатов данного анализа.

Ключевые слова: информационно-аналитический материал; аналитический мониторинг качества; информационная служба; база данных; мониторинговая информация.

Одной из важных управленческих задач, решаемых информационными службами, (субъектами информационно-аналитического обеспечения), работающими в интересах органов власти, является анализ качества выпускаемых ими информационных продуктов (ИП) на предмет наличия недостатков, снижающих объективность информирования потребителей. На практике для этого часто применяются способы анализа качества ИП, базирующиеся на редакторском анализе [5, 12]. Результатами такого анализа, выполняемого опытными специалистами (экспертами), являются краткие суждения об их пригодности или непригодности к применению по назначению. Более сложный вариант формирования выводов о качестве ИП предполагает использование характеристик качества и шкал, предназначенных для аргументации мнений экспертов.

Следует отметить, что несовершенство системы мер (критериев и оценок), отражающих степень соответствия ИП конкретным требованиям, ведет к возрастанию затрат на их подготовку, связанных со своевременным выявлением фактов снижения качества продукции при ее создании. В ходе исследования определено, что при использовании известных методов анализа качества ИП [5, 12] один и тот же продукт может иметь целый ряд проекций оценки качества, зависящих от разных доминант у специалиста, производящего его анализ. В связи с этим сделан вывод о необходимости сохранения тождества (воспроизводимости) оценки качества ИП при его восприятии различными специалистами, чему способствует выделение взаимосвязей причин возникновения (факторов) и построение системы недостатков качества ИП.

Проведенное исследование содержания ИП, изготавливаемых в интересах органов власти, процедур подготовки и анализа их качества позволило разработать методику аналитического мониторинга качества информационно-аналитического материала (далее – методика). Информационно-аналитический материал (ИАМ) является видом информационной продукции, выпускаемым многими информационными службами, функционирующими в интересах органов власти различного уровня [2, 8-9]. Основными видами ИАМ являются аналитическая справка, информационный монобзор, реферативный обзор, бизнес-справка, аналитический обзор.

Под аналитическим мониторингом качества ИАМ понимается комплекс процедур обработки ИАМ, содержащих аналитическую составляющую, направленный на определение уровня качества данной информационной продукции с учетом влияющих на него факторов.

В отличие от способов анализа качества ИП, базирующихся на проведении редакторского анализа, аналитический мониторинг направлен не только на выявление недостатков, определение уровня качества информационной продукции, но и на выявление причин его снижения.

В ходе исследования выявлены и систематизированы основные факторы, влияющие на подготовку ИАМ. Негативное влияние факторов, приведенных на рисунке 1, на подготовку ИАМ приводит к появлению недостатков в содержании, форме представления ИАМ, нарушениям регламента их доставки потребителям (признаков влияния факторов). Следовательно, выявленные в ходе исследования факторы, влияющие на подготовку ИАМ, являются причинами снижения качества данных ИП (причинными факторами). Примерами признаков влияния таких факторов на качество ИАМ являются фактические ошибки, грамматические ошибки, опечатки, нарушения требований к объему, структуре ИАМ, их оформлению, дата доставки ИАМ потребителю, длина лексических и синтаксических конструкций.



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на подготовку ИАМ

В ходе исследования определено, что причинные факторы могут влиять на качество ИАМ в целом или на отдельные их свойства, при этом влиянием ряда факторов представляется возможным управлять на уровне информационной службы, осуществляющей подготовку ИАМ.

Порядок выполнения аналитического мониторинга качества ИАМ в соответствии с методикой в общем виде (первый уровень детализации) приведен на рисунке 2.

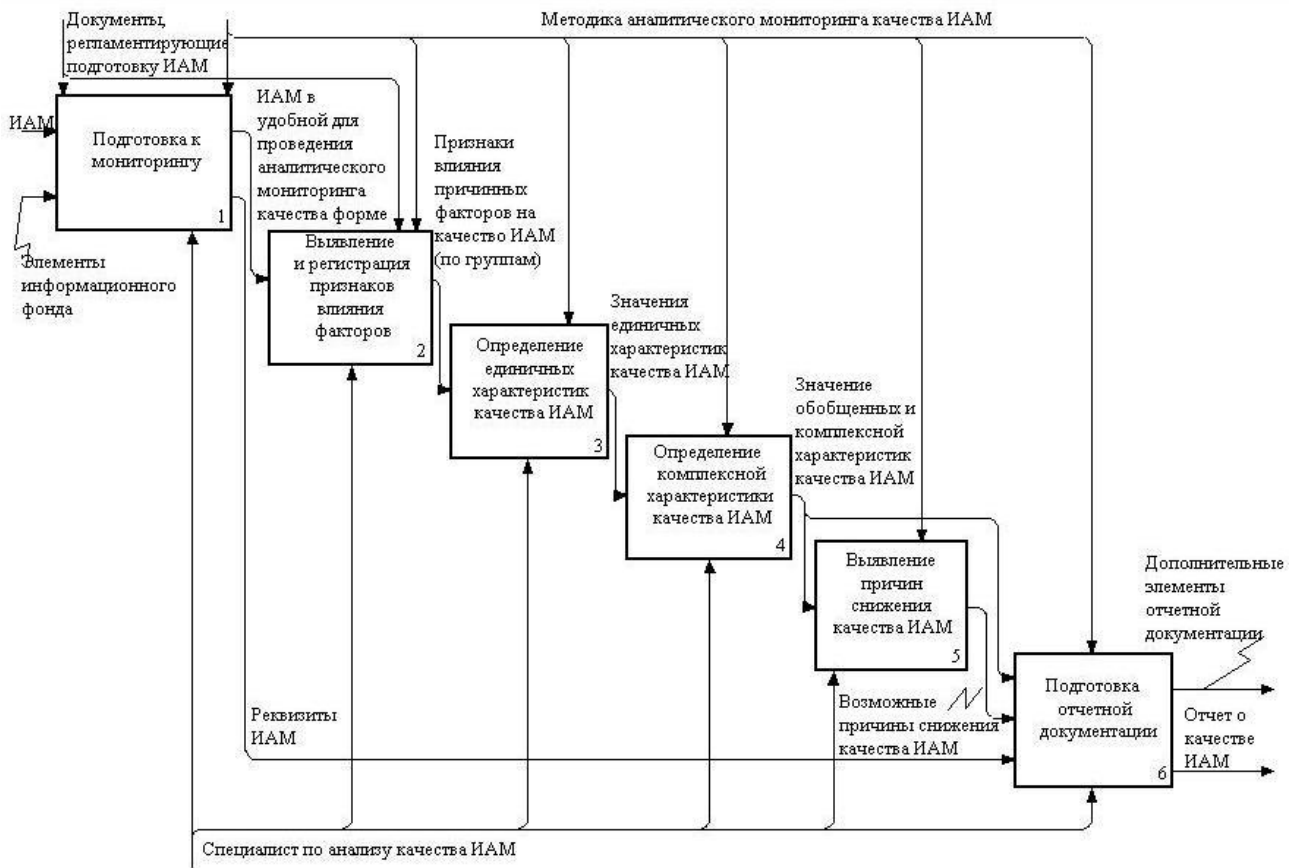


Рисунок 2 – Порядок выполнения аналитического мониторинга качества ИАМ в соответствии с разработанной методикой

Следует отметить, что обязательным условием для выполнения аналитического мониторинга качества ИАМ является соответствие оценивающих лиц ряду квалификационных требований. Данный процесс должен производиться оценивающими лицами, обладающими:

- знаниями в области проблем, рассматриваемых в ИАМ;
- знаниями в области наук о языке;
- знаниями основных документов, регламентирующих подготовку ИАМ;
- умениями применять программные средства обработки текстовой информации;
- умениями применять метод самоконтроля;
- навыками редакторского и рецензорского анализа.

Согласно рисунку 2, при выполнении первого этапа аналитического мониторинга качества ИАМ:

- изучаются документы, регламентирующие подготовку ИАМ, информация по теме ИАМ, хранящаяся в информационном фонде;
- определяются основные реквизиты ИАМ;
- производится перевод ИАМ в удобную для анализа форму (электронную с возможностью изменения содержания).

При выполнении второго этапа аналитического мониторинга качества ИАМ (рис. 2) производится изучение ИАМ с целью выявления признаков влияния причинных факторов, снижающих качество, и их регистрации. Данный этап является одним из самых трудоемких этапов аналитического мониторинга качества ИАМ.

На третьем этапе аналитического мониторинга качества ИАМ (рис. 2) определяются значения двенадцати единичных характеристик качества ИАМ.

Определение значений данной группы характеристик производится с использованием информации о признаках влияния причинных факторов, полученной при выполнении второго этапа методики.

Четвертый этап аналитического мониторинга качества ИАМ (рис. 2) предусматривает определение значений семи обобщенных и комплексной характеристик качества ИАМ. Кроме того, на данном этапе производится интерпретация значения комплексной характеристики – делается вывод о низком, среднем или высоком качестве ИАМ. Этапы, аналогичные данному, используются в методиках оценки качества различных информационных продуктов [1, 4, 7].

Разработанная в рамках исследования система характеристик качества ИАМ, используемая при выполнении третьего и четвертого этапов аналитического мониторинга, подробно описана в статье [6].

При выполнении пятого этапа аналитического мониторинга качества ИАМ (выявлении причин снижения качества ИАМ) предлагается использовать причинно-следственные диаграммы для каждой обобщенной характеристики качества ИАМ. Метод построения таких диаграмм и особенности его применения подробно описаны в трудах К. Исикавы, а также работах отечественных специалистов в области управления качеством [3, 11, 13].

Шестой этап аналитического мониторинга качества ИАМ (рис. 2) предусматривает подготовку отчетных документов, обязательным из которых предлагается считать отчет о качестве ИАМ. Дополнительными отчетными документами являются ИАМ в исходном виде или с выделенными, устраненными недостатками. Дополнительные отчетные документы могут быть использованы в процессе повышения квалификации сотрудников, осуществляющих подготовку ИАМ.

Следует отметить, что для всех этапов аналитического мониторинга качества ИАМ возможно получение не только основных (рис. 2), но и побочных результатов, к числу которых относятся признаки неправильных действий совершенных оценивающими лицами. Эти результаты выполнения этапов аналитического мониторинга качества ИАМ на рисунке 2 не отображены, однако их необходимо выявлять и анализировать.

Определение этапов аналитического мониторинга качества ИАМ, их входных и выходных данных позволило представить этот информационный процесс в виде выражения

$$\left\{ \begin{array}{l} o_k' \xrightarrow{\{D^T\}, M_1 \in M} o_k'', d, \{B_1'\} \\ o_k'' \xrightarrow{\{D^T\}, M_2 \in M} \{N^1\}, \{B_2'\} \\ \{N^1\} \xrightarrow{K^c, M_3 \in M, Q} \{C_{1,c}'\}, \{B_3'\} \\ \{C_{1,c}'\} \xrightarrow{K^c, M_4 \in M} \{C_{2,c}'\} q, q', \{B_4'\} \\ q', \{C_{2,c}'\} \xrightarrow{M_5 \in M} \{F^1\}, \{B_5'\} \\ q', \{F^1\}, d \xrightarrow{M_6 \in M} \{D\}, \{B_6'\} \end{array} \right. , \quad (1)$$

где o_k' – объект аналитического мониторинга (ИАМ, относящийся к одному из k видов);

$\{D^T\}$ – множество документов, использующихся при аналитическом мониторинге качества ИАМ;

o_k'' – объект аналитического мониторинга, представленный в форме, удобной для проведения мониторинга;

$M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ – этапы методики аналитического мониторинга качества ИАМ;

M – методика аналитического мониторинга качества ИАМ;

d – общая информация об ИАМ (название, вид, дата подготовки), оценивающим лице;

$\{B'_1\}, \{B'_2\}, \{B'_3\}, \{B'_4\}, \{B'_5\}, \{B'_6\}$ – множества признаков неправильных действий оценивающего лица на 1-6 этапах аналитического мониторинга качества ИАМ;

$\{N'\}$ – множество признаков влияния причинных факторов, снижающих качество объекта аналитического мониторинга o'_k ;

$\{K^c\}$ – множество критериев определения значений характеристик качества ИАМ;

$\{C'_{1,c}\}$ – множество значений единичных характеристик качества ИАМ, относящиеся к o'_k ;

$\{C'_{2,c}\}$ – множество значений обобщенных характеристик качества ИАМ, относящиеся к o'_k ;

q – значение комплексной характеристики качества ИАМ;

q' – интерпретация комплексной характеристики качества ИАМ;

$\{F'\}$ – множество причин снижения качества объекта o'_k ;

$\{D\}$ – множество отчетных документов.

Характер этапов аналитического мониторинга (рис. 2) предусматривает сбор, обработку, хранение мониторинговой информации, которая в дальнейшем должна использоваться для комплексного анализа деятельности информационной службы по подготовке ИАМ.

При проведении аналитического мониторинга качества ИАМ имеют место два вида мониторинговой информации:

информация, используемая в качестве базы для проведения аналитического мониторинга качества ИАМ;

информация, образующаяся в ходе аналитического мониторинга качества ИАМ.

К мониторинговой информации первого вида относятся документы:

регламентирующие проведение аналитического мониторинга качества ИАМ;

используемые при осуществлении аналитического мониторинга качества ИАМ.

Мониторинговая информация второго вида включает в себя:

- сведения о недостатках ИАМ (признаках влияния причинных факторов);
- значения единичных, обобщенных, комплексной характеристик качества ИАМ;
- возможные причины снижения качества ИАМ;
- отчетную документацию;
- сведения об ошибках экспертов, которые выявляются при анализе результатов мониторинга или с помощью специальных средств автоматизации данного процесса.

Мониторинговая информация второго вида включает в себя:

В формальном виде составляющие структуры мониторинговой информации можно представить в виде выражения

$$\{Z\} = \langle \{K^c\}, M, \{D^T\}, o'_k, o''_k, d, \{N'\}, \{C'_{1,c}\}, \{C'_{2,c}\}, q, q', \{F'\}, \{D\}, \{B'_i\} \rangle, i \in [1; 6], \quad (2)$$

где $\{Z\}$ – множество данных, образующихся и используемых при проведении аналитического мониторинга качества ИАМ (мониторинговая информация);

$\{K^c\}, M, \{D^T\}, o'_k, o''_k, d, \{N'\}, \{C'_{1,c}\}, \{C'_{2,c}\}, q, q', \{F'\}, \{D\}$ – согласно обозначениям, используемым в выражении (1);

$\{B'_i\}$ – множество признаков неправильных действий оценивающего лица на i -ом этапе мониторинга.

Логическая модель базы данных, предназначенной для хранения мониторинговой информации, приведена на рисунке 3. Названия сущностей и атрибутов, используемых при построении логической модели базы данных, на рисунке 3 приведены в сокращенном виде.

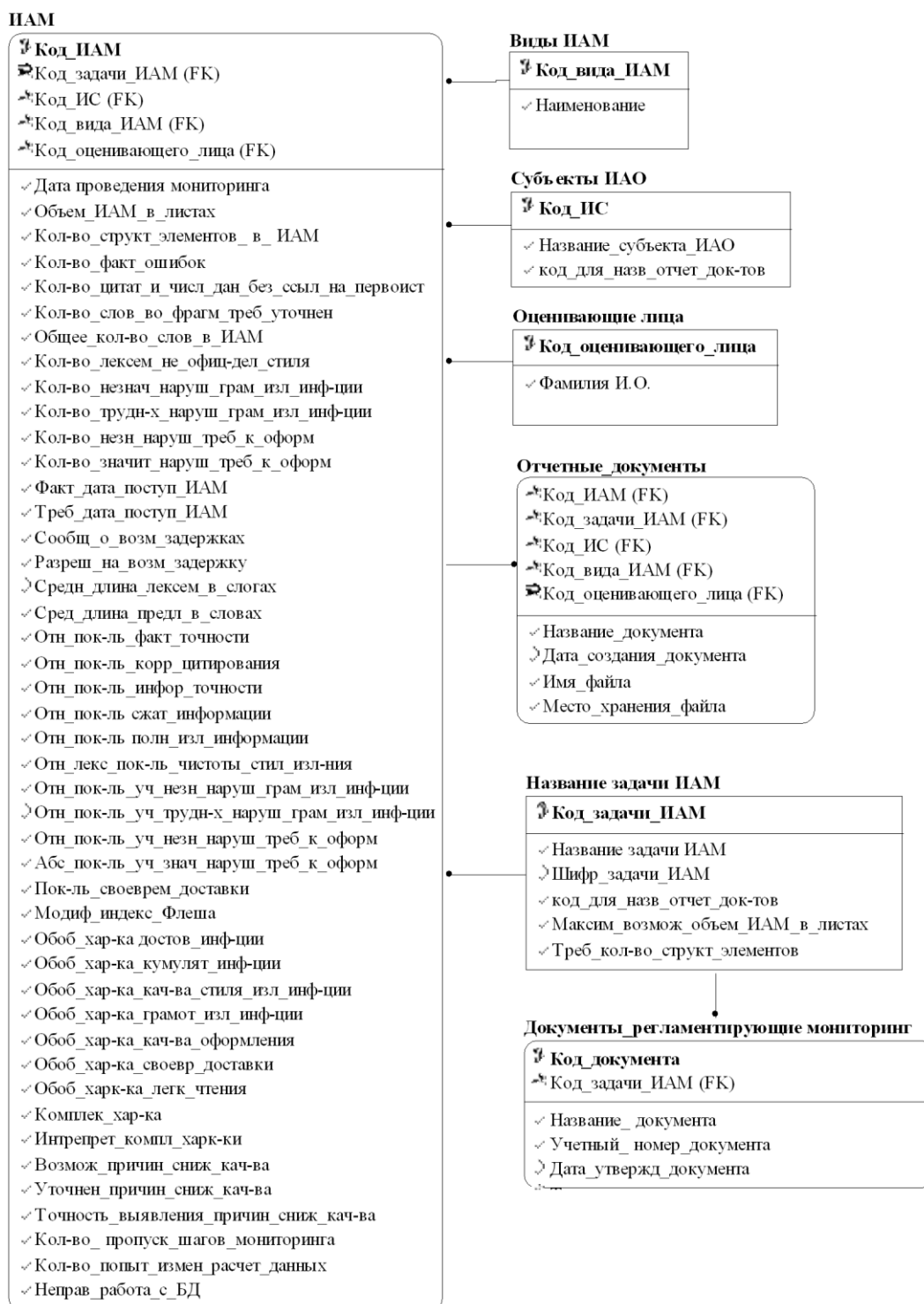


Рисунок 3 – Логическая модель базы данных, предназначенной для хранения мониторинговой информации

База данных, созданная с использованием логической модели, приведенной на рисунке 3, является элементом программного средства «Анализатор качества информационно-аналитических материалов», зарегистрированного в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [10]. Хранящиеся в базе данные позволяют производить комплексный анализ деятельности информационных служб по подготовке ИАМ, кроме того, они могут быть использованы для решения задач прогнозирования качества данных информационных продуктов.

В настоящее время производится апробация разработанной методики и программного средства. Кроме того, методика, система характеристик качества ИАМ, используемая в ней, успешно применялись при разработке методик анализа качества других информационных продуктов, оценки отдельных видов деятельности информационных служб, образовательном процессе.

Дальнейшим направлением исследований является разработка методики комплексной оценки и аналитического мониторинга информационно-аналитической деятельности информационных служб, производимой в интересах органов власти различного уровня. Данная методика будет предназначаться для использования при организационном управлении деятельностью таких служб.

Дальнейшим направлением исследований является разработка методики комплексной оценки и аналитического мониторинга деятельности информационной службы, предназначенной для использования при организационном управлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 37-2002. Потребительские товары. Инструкции по применению. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 20 с.
2. Ильин Н.И., Демидов Н.Н., Попович П.Н. Развитие систем специального информационного обеспечения государственного управления. – М.: Медиа-Пресс, 2009. – 288 с.
3. Исикава К. Японские методы управления качеством (под ред. А.В. Гличева). – М.: Экономика, 1988. – 215 с.
4. Лабазова Т.А. Разработка предложений по оценке качества инструкций пользователей информационных систем [Электронный ресурс]. – URL: <http://nit.miem.edu.ru/sbornik/2009/sec3/9.htm> (дата обращения 10.10.2012).
5. Мильчин А.Э. Методика и техника редактирования текста. – М.: Книга, 1972. – 320 с.
6. Овсянников А.А., Голубинский Е.Ю. Формирование системы характеристик качества информационно-аналитических материалов // Информационные системы и технологии, 2012. – № 5. – С. 73-81.
7. Овсянников А.А., Елецкий К.В. Подход к фильтрации сообщений СМИ на основе модели процесса оценки качества // Информационные системы и технологии, 2010. – № 1/57. – С. 68-74.
8. Положение об информационно-аналитическом отделе управления правительства Республики Дагестан по информационным технологиям [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.diap.ru/?id=data/cont/1309646560/1309648789/index.html> (дата обращения 11.11.2012).
9. Положение об отделе аналитики, кадров, финансового и материального обеспечения Департамента Смоленской области по информационным технологиям, связи и обеспечению предоставления услуг в электронном виде [Электронный ресурс]. – URL: http://its.admin-smolensk.ru/dejatelnost/analit_otdel/ (дата обращения 11.11.2012).
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611215. Анализатор качества информационно-аналитических материалов «Recenzent-IAМ».
11. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: учебное пособие / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, В.Я. Белобрагин и др. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с.
12. Янг Э., Куинн Э. Как написать действенный аналитический документ в сфере государственной политики: практическое пособие для советников по государственной политике в Центральной и Восточной Европе. – Киев: «К.И.С.», 2003. – 124 с.
13. Ishikawa K. What is Total Quality Control. The Japanese Way. – London: Prentice Hall, 1985. – 674 p.

Голубинский Евгений Юрьевич
Академия ФСО России, г. Орел
Научный сотрудник
Тел.: 8 909 230 47 33

E-mail: darzhhek@yandex.ru

E.Yu. GOLUBINSKIY (*Research Associate*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**METHODS OF ANALYTICAL MONITORING OF INFORMATION-ANALYTICAL MATERIAL
QUALITY PREPARED FOR GOVERNMENT AUTHORITIES' INTEREST**

The articles deals with the methods of analytical monitoring of information-analytical material prepared for government authorities' interest. The methods are intended to be used in the process of the management of information production quality. The author also describes an approach for systematization and storage of the information used for analysis of information-analytical material, and the results of this analysis.

Keywords: *information-analytical material; analytical monitoring of quality; information service; database; monitoring information.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. GOST 37-2002. Potrebitel'skie tovary'. Instrukcii po primeneniyu. Obshhie trebovaniya. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2002. – 20 s.
2. Il'in N.I., Demidov N.N., Popovich P.N. Razvitie sistem special'nogo informacionnogo obespecheniya gosudarstvennogo upravleniya. – M.: Media-Press, 2009. – 288 s.
3. Isikava K. Yaponskie metody' upravleniya kachestvom (pod red. A.V. Glicheva). – M.: E'konomika, 1988. – 215 s.
4. Labazova T.A. Razrabotka predlozhenij po ocenke kachestva instrukcij pol'zovatelej informacionny'x sistem [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://nit.miem.edu.ru/sbornik/2009/sec3/9.htm> (data obrashheniya: 10.10.2012).
5. Mil'chin A.E'. Metodika i texnika redaktirovaniya teksta. – M.: Kniga, 1972. – 320 s.
6. Ovsyannikov A.A., Golubinskij E.Yu. Formirovanie sistemy' xarakteristik kachestva informacionno-analiticheskix materialov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2012. – № 5. – S. 73-81.
7. Ovsyannikov A.A., Eleczkij K.V. Podxod k fil'tracii soobshhenij SMI na osnove modeli processa ocenki kachestva // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2010. – № 1/57. – S. 68-74.
8. Polozhenie ob informacionno-analiticheskom otdele upravleniya pravitel'stva Respubliki Dagestan po informacionny'm texnologiyam [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.diap.ru/?id=data/cont/1309646560/1309648789/index.html> (data obrashheniya: 11.11.2012).
9. Polozhenie ob otdele analitiki, kadrov, finansovogo i material'nogo obespecheniya Departamenta Smolenskoj oblasti po informacionny'm texnologiyam, svyazi i obespecheniyu predstavleniya uslug v e'lektronnom vide [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://its.admin-smolensk.ru/deyatelnost/analit_otdel/ (data obrashheniya 11.11.2012).
10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy' dlya E'VM № 2010611215. Analizator kachestva informacionno-analiticheskix materialov «Recenzent-IAM».
11. Upravlenie kachestvom produkcii. Instrumenty' i metody' menedzhmenta kachestva: uchebnoe posobie / S.V. Ponomaryov, S.V. Mishhenko, V.Ya. Belobragin i dr. – M.: RIA «Standarty' i kachestvo», 2005. – 248 s.
12. Yang E', Kuinn E'. Kak napisat' dejstvenny'j analiticheskij dokument v sfere gosudarstvennoj politiki: prakticheskoe posobie dlya sovetnikov po gosudarstvennoj politike v Central'noj i Vostochnoj Evrope. – Kiev: «K.I.S», 2003. – 124 s.
13. Ishikawa K. What is Total Quality Control. The Japanese Way. – London: Prentice Hall, 1985. – 674 p.

УДК 373.1.013

С.Н. ГОНЧАРЕНКО, Д.В. МАКЕЕВА

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МОНИТОРИНГА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕЙТИНГОВ УЧАЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ВВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ФГОС

Новый стандарт образовательного процесса ФГОС представляет собой совокупность требований, обязательных при реализации основной образовательной программы основного общего образования образовательными учреждениями, имеющими государственную аккредитацию.

В рамках этого проекта учебным заведениям стало необходимым вести рейтинговую систему качества образования каждого учащегося и своевременно предоставлять результаты рейтингового шкалирования.

Данная система рейтингов должна была включить в себя сумму баллов, полученных учащимся за период обучения тому или иному предмету, и баллы за усвоение общеобразовательных компетенций.

В связи с этим принято решение о создании обособленной, не входящей в другую подсистему, систему мониторинга образовательных рейтингов учащихся.

Ключевые слова: мониторинг общеобразовательных рейтингов учащихся; система образования; ФГОС; образовательные рейтинги; компетенции.

Модернизация российской системы образования выдвинула ряд актуальных проблем, одной из которых является получение объективной и достоверной оценки качества знаний учащихся.

Система образования отказывается от традиционного представления результатов обучения в виде знаний, умений и навыков, формулировки стандарта указывают реальные виды деятельности, которыми учащийся должен овладеть к концу обучения. Требования к результатам обучения сформулированы в виде личностных, метапредметных и предметных компетенций.

Перечень ключевых образовательных компетенций определяется на основе главных целей общего образования, структурного представления социального опыта и опыта личности, а также основных видов деятельности учащегося, позволяющих ему овладеть социальным опытом, получать навыки жизни и практической деятельности в современном обществе.

После окончания изучения конкретного предмета преподаватель просчитывает рейтинг учащегося, включая в него и баллы, начисленные за усвоение той или иной компетенции [1].

Апробация внедрения и тестирования нового федерального государственного образовательного стандарта представляет собой совокупность требований, обязательных при реализации основной образовательной программы образовательными учреждениями, имеющими государственную аккредитацию. Принципиальное отличие нового стандарта заключается в том, что целью является не предметный, а личностный результат. Важна, прежде всего, личность самого учащегося и происходящие с ней в процессе обучения изменения, а не сумма знаний, накопленная за время обучения.

ФГОС допускает две классификации ключевых компетенций в рамках предметных областей.

Право выбора той или иной классификации ключевых компетенций остается за преподавателями учебного заведения, в котором новый стандарт вступил в силу. Такой стандарт образования предусматривает переход к новым формам независимой государственной итоговой аттестации выпускников и требует создания принципиально новой системы управления качеством образования [3].

Таким образом, актуальной задачей стала необходимость вести рейтинговую систему качества образования учащихся и своевременно представлять результаты рейтингового шкалирования.

Данная система рейтингов должна была включить в себя сумму баллов, полученных учащимся за период обучения тому или иному предмету, и баллы за усвоение общеобразовательных компетенций. В этой связи рейтинговая система образования учащихся может стать ведущей системой оценки знаний и контроля над успеваемостью.

Фрагмент минимальной оценочно-диагностической карты по оценке уровня сформированности устной компетентности показан в таблице 1.

Таблица 1 – Фрагмент минимальной оценочно-диагностической карты по оценке уровня сформированности устной компетенции

Коммуникативные умения	Уровни			
	Рефлексивно-оценочный	творческо-поисковый	оптимально-адаптивный	базовый
	Участие в обсуждениях и учебных дискуссиях			
Формулировка проблемы	Самостоятельно предлагает и формулирует проблему для обсуждения	Самостоятельно формулирует проблему для обсуждения	Приводит аргументы, высказывая мнение и идеи	Высказывает реплики, касающиеся только предмета обсуждения
Восприятие высказывания	Высказывает собственное мнение о решении проблемы и создает вокруг себя заинтересованную группу в ее решении	Воспринимает высказанные мысли и выражает собственное мнение о предмете рассуждения	Воспринимает критически высказанные (другими учащимися) мысли	Воспринимает однозначно мысли, высказанные другими учащимися

Каждый пункт представленной структуры имеет свой вес и свое балловое значение, при этом стандарт задает рамки значений баллов, а преподаватели, в свою очередь, обязаны премировать ими учащихся в зависимости от их подготовленности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ В ОБЩЕМ ВИДЕ

Таким образом, основной задачей исследования является разработка автоматизированной системы мониторинга образовательных рейтингов, основанного на наблюдении за индивидуальной успеваемостью и качеством обучения.

Разработка такой системы повысит достоверность данных, составляющих информационные потоки, и сведет к минимуму возможность ошибки, тем самым уменьшив трудоемкость учета информации и ведения реестра [1].

Введение системы мониторинга общеобразовательных рейтингов учащихся обеспечит:

- возрастание активности учащегося за счет прозрачности схемы оценки успеваемости, возможности получить заданный уровень оценки своей успеваемости при планировании своей нагрузки в течение учебного процесса и успешном выполнении плановых учебных мероприятий, возможности систематического контроля своей текущей успеваемости;

- повышение адекватности оценки успеваемости учащегося за счет систематизации количественных показателей успеваемости, планирования контрольных учебных мероприятий, систематической оценки успеваемости;

- улучшение организационно-методического контроля учебного процесса по результатам текущего и итогового рейтинга успеваемости за счет анализа закономерностей в показателях успеваемости с последующим анализом недостатков учебно-методической работы и оперативным внесением корректив в организацию учебного процесса.

Основной смысл проведения мониторинга общеобразовательных рейтингов учащихся в контексте рейтинговой системы обучения и оценки знаний в том, что мониторинг является итоговым звеном при объективном оценивании уровня достижений учащихся, он является результатом качественного сотрудничества преподавателя и учащегося в пределах программы по учебному плану. Мониторинг не требует каких-либо существенных изменений в процессе обучения. Он всего лишь является итогом преобразований в социуме, в науке, в образовании.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Заинтересованность учащихся в повышении рейтинга должна поддерживаться системой стимулов и поощрений [7]. На данный момент в практике образовательной деятельности такой системы не существует. Поэтому необходимость такой разработки заключается не только в создании автоматизированной системы мониторинга образовательных рейтингов, основанного на наблюдении за индивидуальной успеваемостью и качеством образования учащихся, но и в проектировании системы стимулов, рекомендаций и поощрений учащихся в зависимости от их места в таблице общеобразовательных рейтингов.

Для наглядного примера ниже приведена обязательная схема взаимодействия участников информационной среды после внедрения в образовательный процесс ФГОС и проведения мониторинга образовательных рейтингов учащихся (рис. 1).

В рамках внедрения ФГОС предлагается своя структура обобщенной коммуникативной компетентности и пути ее формирования (рис. 2) как базовую.

Этапы развития обобщенной коммуникативной компетентности приведены на рисунке 1.

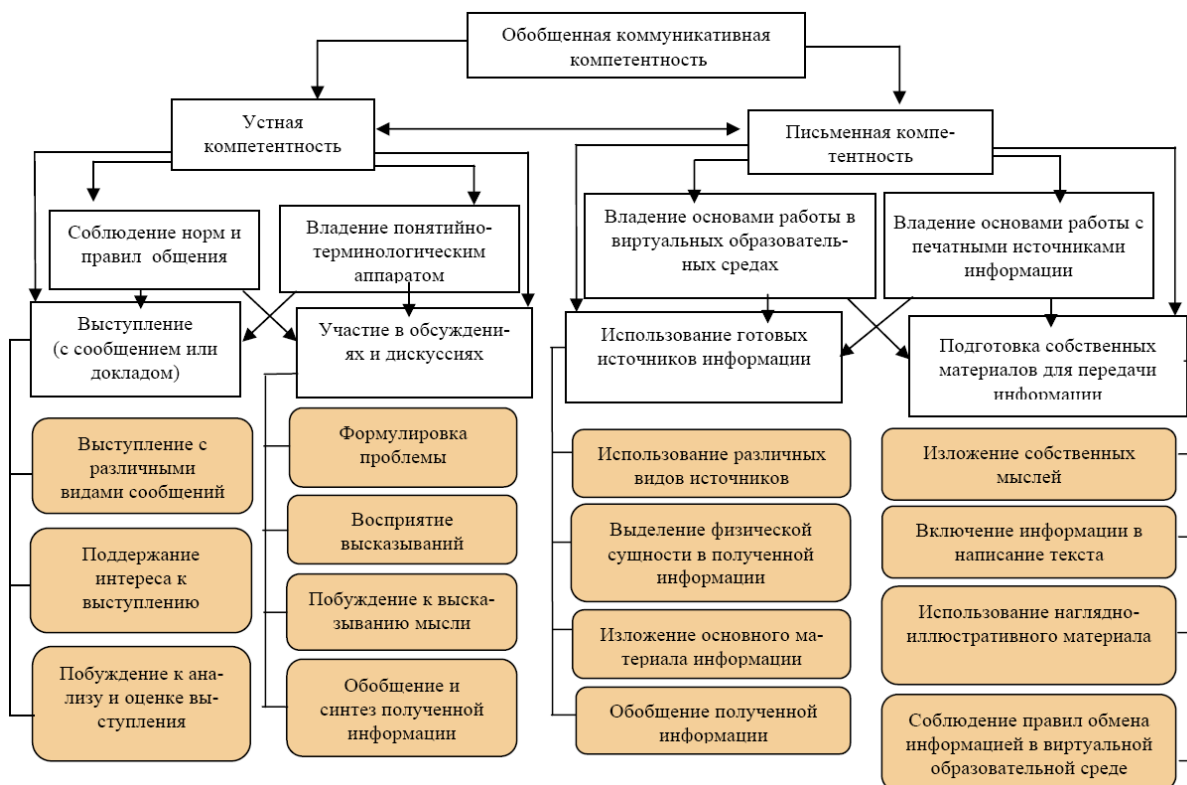


Рисунок 1 – Структура обобщенной коммуникативной компетентности и пути ее формирования

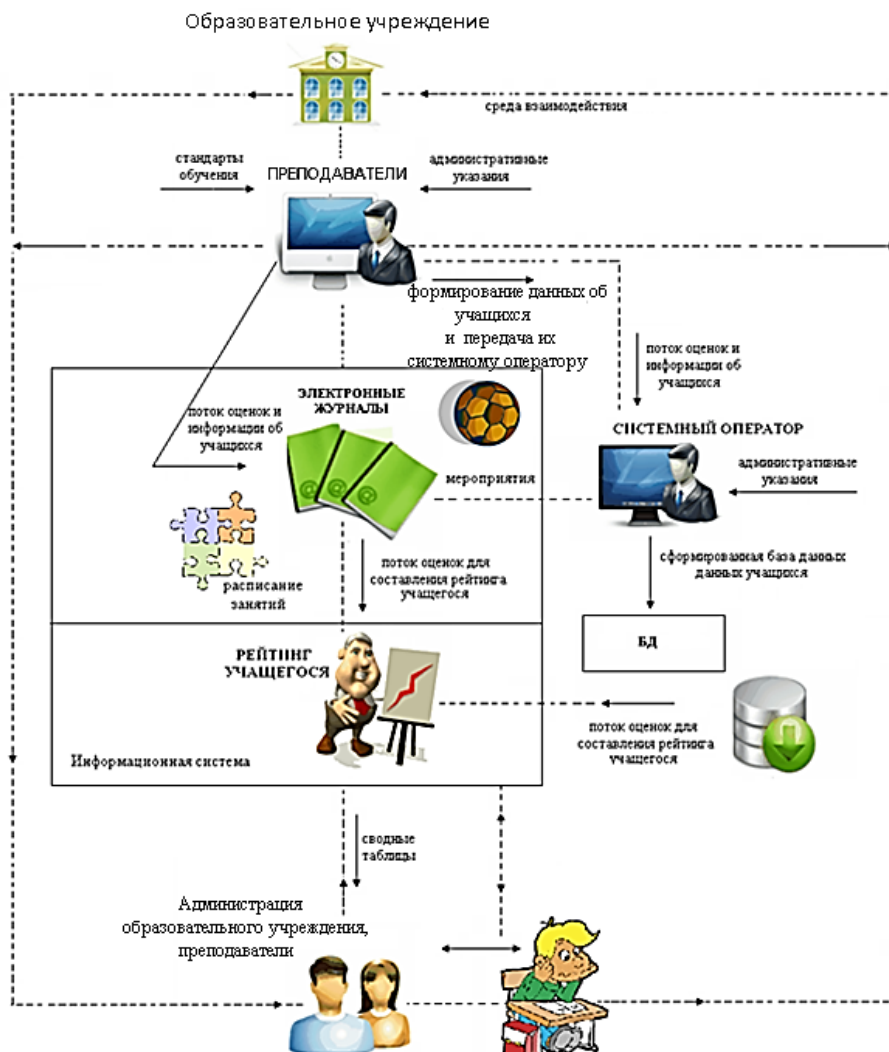
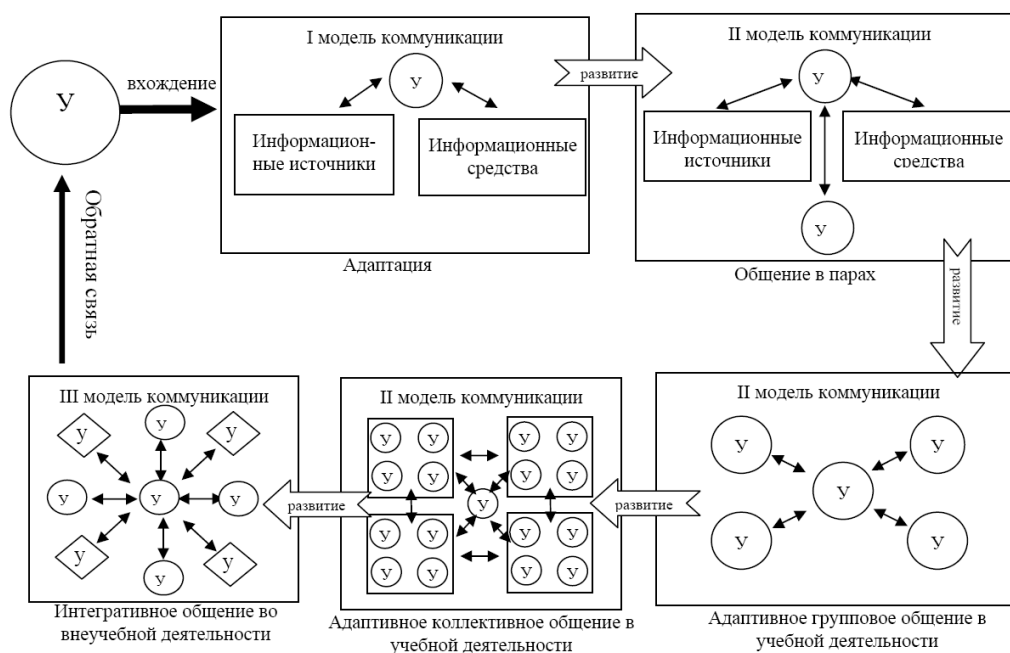


Рисунок 2 – Взаимодействия участников информационной среды в рамках проведения мониторинга образовательных рейтингов учащихся



У – учащиея

Рисунок 3 – Этапы развития обобщенной коммуникативной компетентности

На данный момент общий рейтинг учащегося рассчитывается по следующей формуле:

$$R = R_{исх.} + R_{доп.} + R_k, \quad (1)$$

где $R_{исх.}$ – исходный рейтинг, определяемый по ответам на вопросы;

$R_{доп.}$ – начисление дополнительных баллов за участие в учебной деятельности;

R_k – дополнительные баллы, начисляемые учащемуся за определенные общеобразовательные компетенции.

$$R_{исх.} = \frac{k}{m}, \quad (2)$$

где k – количество баллов, заработанных учащимися при ответе на вопросы;

m – максимальное количество баллов, которое можно заработать при правильных ответах на вопросы.

$$R_{доп.} = L_g + N + L_{sh} + L_s + A_{vn}, \quad (3)$$

где L_g – победа в предметных олимпиадах городского уровня;

N – наличие научных рефератов, докладов, проведение исследований по учебным дисциплинам;

L_{sh} – победа в предметных олимпиадах на уровне образовательных учреждений;

A_{vn} – активное участие во внеаудиторной работе по предмету.

$$R_k = f * \frac{P_1 * B}{U_1}, \quad (4)$$

где f – коэффициент сложности предметов, выводится по средней величине средних баллов каждого предмета по результатам нескольких лет;

P_1 – средний балл за определенный период обучения;

B – возрастной коэффициент;

U_1 – уровень интеллекта конкретного учащегося.

$$B = \frac{U_2}{P_2}, \quad (5)$$

где U_2 – средний балл уровня интеллекта учащихся одной возрастной группы;

P_2 – результаты учебной деятельности (в среднем балле) на протяжении 3-х последних лет.

В ходе мониторинга общеобразовательных рейтингов учащихся был рассмотрен ряд методов расчета рейтинга и выявлен наиболее приемлемый для данного учебного заведения.

В число параметров оценки социальных характеристик входят:

- посещаемость занятий;
- качество работы над самостоятельными заданиями;
- уважительное корректное обращение с педагогами и коллегами;
- прилежание и трудолюбие;
- общая эрудиция;
- активность на занятиях;
- усвоение общеобразовательных компетенций.

Вводится следующее распределение оценочных баллов при рейтинговой системе:

– общая сумма баллов, полученная учащимся по рейтинговой системе, не должна превышать количества учебных часов дисциплины в учебном плане;

– доля дисциплинарного рейтинга не должна превышать 70% от общей суммы баллов, в том числе по текущему контролю – 30%; по итоговому контролю – 10%; промежуточному контролю – 30%;

– сумма творческого рейтинга не должна превышать 30% от общей суммы баллов;

– при определении минимальной и максимальной суммы баллов рейтинга оценка за каждый вид контроля не должна быть ниже 3 баллов, а максимальная сумма баллов (оценка 5) равна количеству учебных часов.

В данной рейтинговой системе учитывается трудоемкость и сложность изучения дисциплины, вводятся коэффициенты ритмичности сдачи контрольных заданий, расчет рейтинга учащегося достаточно прост:

$$S_{\text{инт.}} = 20 S_{\text{нк}} + 30 S_{\text{нк}} + 50 S_{\text{мо}}, \quad (6)$$

где $S_{\text{инт}}$ – интегральная оценка результатов обучения;

$S_{\text{нк}}$ – оценка текущего контроля;

$S_{\text{нк}}$ – оценка промежуточного контроля результатов обучения в середине полугодия, т.е. четвертные;

$S_{\text{мо}}$ – оценка заключительного экзамена, проводимого в устной или письменной форме.

Все оценки выставляются в диапазоне общепринятой пятибалльной шкалы. Параллельно вычисляется рейтинг учащегося по формуле:

$$R_{\text{new}} = R_{\text{old}} + K (S_i - m S_f), \quad (7)$$

где R_{new} – новое (вычисляемое) значение рейтинга;

R_{old} – предыдущее (старое) значение рейтинга;

K – весовой коэффициент значимости компетенций;

S_i – количество испытаний в четверти;

m – оценка, полученная на очередном i -ом испытании;

S_f – ожидаемая оценка, вычисляемая компьютерной системой.

Окончательная оценка знаний учащихся включает в себя учет посещаемости занятий, выполнения учащимся графика самостоятельных и контрольных работ, и результат усвоения общеобразовательных компетенций в процентах сдается в учебный отдел педагогами для расчета на ЭВМ интегральной оценки по предмету и рейтинга учащегося. Для этого проценты оператором ЭВМ переводятся в оценки от 0 до 5 с шагом 0,1 по специальной шкале СИ:

$$СИ = 10Q_n + 30Q_{\text{срс}} + 60Q_{\text{мо}}, \quad (8)$$

где Q_n , $Q_{\text{срс}}$, $Q_{\text{мо}}$ – средние за определенный временной интервал значений оценки соответственно посещаемости, выполнения самостоятельных контрольных работ и усвоение общеобразовательных компетенций;

10,30,60 – коэффициенты значимости различных видов контроля.

В конце полугодия СИ переводится в традиционную отметку по таблице 2.

Таблица 2 – Соотношение между СИ и пятибалльной шкалой

Суммарный индекс	Оценка в пятибалльной системе
СИ < 250	2
250 < СИ < 350	3
350 < СИ < 435	4
435 < СИ < 500	4+ система премирования
500 < СИ < 600	5
600 < СИ	5 + система премирования

СИ позволяет учащемуся прогнозировать будущую оценку; стимулирует учащегося в получении высоких промежуточных результатов.

Расчет итогового рейтинга в рамках мониторинга общеобразовательных рейтингов учащихся осуществляется раз в неделю.

Изменение рейтинга учащегося при выполнении “обязательной” программы осуществляется в соответствии с формулой общего вида

$$R_{\text{new}} = R_{\text{old}} + K \left(\sum_{i=1}^m Q_i - m Q_{\text{ож}} \right), \quad (9)$$

где R_{new} – новый рейтинг;

R_{old} – старый (до начала испытания) рейтинг;

K – коэффициент значимости контрольного испытания;

Q_i – действительная оценка качества выполнения i -го испытания;

m – количество дисциплин, по которым рассчитывается рейтинг;

$Q_{ож}$ – ожидаемая оценка качества выполнения, определяемая ЭВМ в зависимости от R_{old} .

При выполнении «обязательной» программы обучения для существенного улучшения рейтинга учащийся должен отлично работать в течение всего учебного года [4].

Иная динамика изменения рейтинга учащегося возможна при выполнении им творческих заданий – «произвольной» программы обучения в соответствии с формулой

$$R_{m(new)} = R_{m(old)} + K(R_{mз} - R_{m(old)}), \quad (10)$$

где K – коэффициент «успеха» выполнения задания;

$R_{mз}$ – рейтинг творческого задания, который должен утверждаться на заседании кафедры;

Наравне с существующей системой мониторинга рейтингов учащихся действует иная система расчета рейтинга, определяющаяся по результатам текущего внутрисеместрового контроля. Соответственно различают:

- рейтинг по результатам текущего внутрисеместрового контроля;
- рейтинг по итогам экзаменационной сессии в каждом семестре;
- рейтинг по итогам всех сданных экзаменационных сессий.

Рейтинг студента по текущей внутрисеместровой успеваемости определяется по проценту выполнения запланированного объема учебной нагрузки по всем изучаемым им в семестре дисциплинам (модулям дисциплин) при каждом внутрисеместровом контроле, т. е. по формуле:

$$R_{мек} = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N b_i^*}, \quad (11)$$

где N – общее число изучаемых в семестре учебных дисциплин, модулей дисциплин, выполняемых курсовых проектов и работ;

b_i – количество полученных учащимся баллов по i -ой дисциплине (модулю дисциплины, курсовому проекту, курсовой работе);

b_i^* – плановое количество баллов, которое учащийся должен был получить по i -ой дисциплине (модулю дисциплины, курсовому проекту, курсовой работе).

Рейтинг учащегося по итогам экзаменационной сессии в каждом семестре определяется по полученной им в эту сессию средней кредитновзвешенной оценке, рассчитываемой по формуле

$$C_{семj} = \frac{\sum_{i=1}^M c_{ij} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^M p_i} \quad (12)$$

где M – общее число сданных учащимся экзаменов в сессию,

c_{ij} – числовое значение оценки по 10-бальной шкале, полученной студентом на экзамене по i -ой дисциплине (модулю дисциплины),

p_i – её кредитная стоимость.

Рейтинг учащегося по итогам всех сданных им k экзаменационных сессий определяется по формуле:

$$C_k = \frac{\sum_{j=1}^k C_{семj}}{k}, \quad (13)$$

где $C_{семj}$ – средняя кредитновзвешенная оценка учащегося, полученная им в j -ю экзаменационную сессию.

Полученные результаты мониторинга образовательных рейтингов учащихся накапливаются в базе данных, что позволяет анализировать и обобщать их на разных уровнях, исследовать динамику показателей, выявлять ведущие факторы, определяющее состояние учащихся.

На основе разработки мониторинга общеобразовательных рейтингов, предлагается ввести систему стимулов и поощрений учащихся (табл. 1).

На этапе разработки подсистемы мониторинга образовательных рейтингов учащихся создается сводная диаграмма успеваемости учащихся, по средствам которой выявляется среднее значение рейтинга по классу (в форме баллов) и устанавливается система стимулов и поощрений учащихся (табл. 3).

Таблица 3 – Система стимулов и поощрений учащихся

Рейтинг (баллы)	Стимул//поощрение // рекомендации
$R_{Общ.} \leq 100$	Проводятся индивидуальные занятия по особо отстающим предметам
$100 < R_{Общ.} \leq 200$	< Решение о поощрение учащихся остается за классным руководителем, учитывая количество пропусков и штрафных баллов >
$200 < R_{Общ.} \leq 300$	
$300 < R_{Общ.} \leq 400$	
$400 < R_{Общ.} \leq 500$	
$500 < R_{Общ.} \leq 600$	Освобождение от сдачи экзамена по предмету, рейтинг которого равен отметки «5»

В результате работы по созданию подсистемы мониторинга образовательных рейтингов учащихся была разработана подсистема, которая автоматизирует процесс информирования администрации образовательного учреждения, учащихся и родителей учащихся об их успеваемости и качестве подготовки в сфере среднего образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение данной системы позволило:

ускорить процесс информирования всех участников образовательной среды; внедрить современные технологии в воспитательный процесс и тем самым улучшить надежность передачи информации [5].

В ходе работы был создан программный продукт, который реализует следующие функции:

- формирование на основе электронных журналов БД учеников;
- просмотр БД;
- формирование тематических отчетов;
- построение динамических и статических диаграмм;
- расчет и планирование рейтингов учащихся.

Разработка такой системы повысила достоверность данных, составляющих информационные потоки, и свела к минимуму возможность ошибки, тем самым уменьшив трудоемкость учета информации и ведения реестра. На рисунке 4 приведено функционирование подсистемы мониторинга образовательных рейтингов учащихся.

Практическая значимость данной подсистемы заключается в том, что систематизированные качественные характеристики и показатели образовательного мониторинга позволяют определить фактический уровень успешности обучения и развития учащихся: реализация идей, направленных на общее развитие учащихся, единство целей воспитательной и учебной работы весьма эффективны для стимуляции самопознания, самовоспитания, саморазвития каждого учащегося [6].

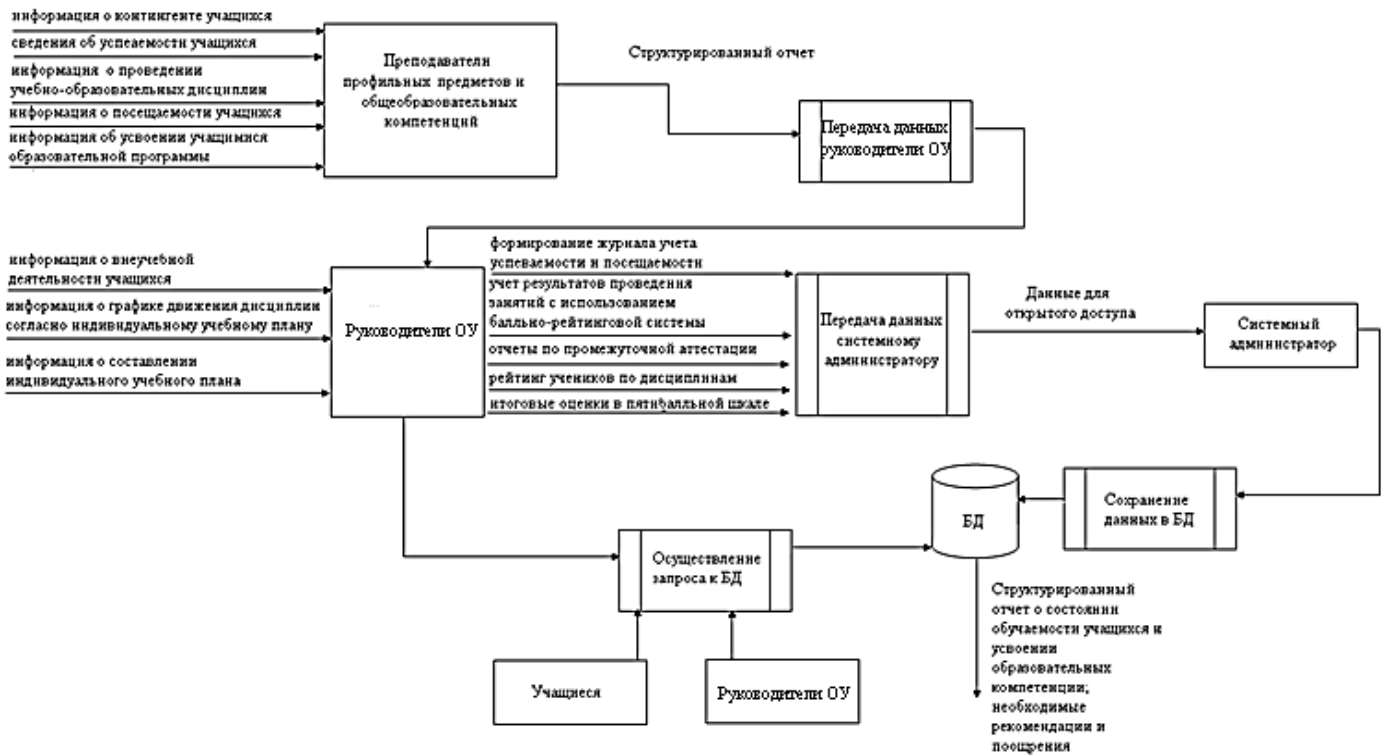


Рисунок 4 – Функционирование подсистемы мониторинга образовательных рейтингов учащихся

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грушевский С.П., Добровольская Н.Ю., Кольцов Ю.В. Организация учебного процесса на основе нейросетевой компьютерной обучающей системы.
2. Бабанский Ю.К. Интенсификация процесса обучения. – М.: Знание, 1987. – 78 с.
3. Галевский Г.В. Современные вопросы теории и практики обучения в ВУЗе. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – 152 с.
4. Петров В.Л., Гончаренко С.Н. Количественная оценка востребованности образовательных программ в условиях уровневого образования. – Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, отдельный выпуск № 3. – «Интеграция науки, профессионального образования и производства», 2011. – 11 с.
5. Петров В.Л., Гончаренко С.Н., Ярошук И.В. Концепция прогнозирования потребности в кадрах для горнопромышленного комплекса. – Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, отдельный выпуск № 3. – «Интеграция науки, профессионального образования и производства», 2011. – 9 с.
6. Петров В.Л., Гончаренко С.Н., Ярошук И.В. Методы прогнозирования структуры кадрового потенциала для горнопромышленного комплекса в территориально-отраслевом разрезе. – Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, отдельный выпуск № 3. – «Интеграция науки, профессионального образования и производства», 2011. – 11 с.
7. Глотова Г.А., Чаликова О.С. Возрастная динамика показателей интеллекта и их взаимосвязей с успеваемостью в подростковом возрасте.
8. Цопа В.М. Модель оценки качества обучения.

Гончаренко Сергей Николаевич

Московский государственный горный университет, г. Москва
 Доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления»
 Тел.: 8 926 703 35 56
 E-mail: gs16@mail.ru

Макеева Дарья Вадимовна

Московский государственный горный университет, г. Москва

Бакалавр техники и технологии, магистрант, ведущий инженер кафедры «Автоматизированные системы управления»
E-mail: littlelotty555@rambler.ru

S.N. GONChARENKO (*Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department «Automated Control Systems»*)

D.V. MAKEEVA (*Bachelor of Engineering and Technology, Undergraduate, Senior Engineer of the Department «Automated Control Systems»
Moscow State Mining University, Moscow*)

INFORMATION SUPPORT FOR MONITORING EDUCATION STUDENT RATINGS IN THE INTRODUCTION OF FGOS

The new standard of educational process of FGOS represents set of requirements, obligatory at realization of the main educational program of the main general education by the educational institutions having the state accreditation.

Within this project, to educational institutions began necessary to conduct the rating quality system of education of each pupil, and in due time to provide results of a rating to parents and Department.

This system of ratings should include a score, received by the pupil during training to this or that subject, and points for assimilation of general educational competences.

In this regard the decision on creation isolated, not entering into other subsystem, system of monitoring of educational ratings of pupils is made.

Keywords: *monitoring of general educational ratings of pupils; education system; FGOS; educational ratings; competences.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Grushevskij S.P., Dobrovol'skaya N.Yu., Kol'cov Yu.V. Organizaciya uchebnogo processa na osnove nejrosetevoj komp'yuternoj obuchayushhej sistemy'.
2. Babanskij Yu.K. Intensifikaciya processa obucheniya. – M.: Znanie, 1987. – 78 s.
3. Galevskij G.V. Sovremennyy'e voprosy' teorii i praktiki obucheniya v VUZe. – Novokuzneck: SibGIU, 2004. – 152 s.
4. Petrov V.L., Goncharenko S.N. Kolichestvennaya ocenka vostrebovannosti obrazovatel'ny'x programm v usloviyax urovneвого obrazovaniya. – Gornyy'j informacionno-analiticheskij byulleten'. – M.: MGGU, otdel'ny'j vy'pusk № 3. – «Integraciya nauki, professional'nogo obrazovaniya i proizvodstva», 2011. – 11 s.
5. Petrov V.L., Goncharenko S.N., Yaroshhuk I.V. Konceptiya prognozirovaniya potrebnosti v kadrax dlya gornopromy'shlennoogo kompleksa. – Gornyy'j informacionno-analiticheskij byulleten'. – M.: MGGU, otdel'ny'j vy'pusk № 3. – «Integraciya nauki, professional'nogo obrazovaniya i proizvodstva», 2011. – 9 s.
6. Petrov V.L., Goncharenko S.N., Yaroshhuk I.V. Metody' prognozirovaniya struktury' kadrovogo potenciala dlya gornopromy'shlennoogo kompleksa v territorial'no-otraslevom razreze. – Gornyy'j informacionno-analiticheskij byulleten'. – M.: MGGU, otdel'ny'j vy'pusk № 3. – «Integraciya nauki, professional'nogo obrazovaniya i proizvodstva», 2011. – 11 s.
7. Glotova G.A., Chalikova O.S. Vozrastnaya dinamika pokazatelej intellekta i ix vzaimosvyazej s uspevaemost'yu v podrostkovom vozraste.
8. Czopa V.M. Model' ocenki kachestva obucheniya.

УДК 004 : [007.5 : 378.1

М.А. ТАРАСОВА, В.В. ВЛАСОВ

**СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ
ПРИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СИСТЕМЫ
ОБРАЗОВАНИЯ ВУЗА**

В настоящее время перспективными являются исследования по изучению причин и условий возникновения синергетических эффектов в образовании. Целью таких исследований является повышение качества и эффективности образования. Задачами таких исследований, в частности, является разработка математической модели синергетической системы и синергетических подходов к управляющим параметрам. В статье показаны предпосылки возникновения синергетического эффекта в системе образования ВУЗа на примере мониторинговых исследований рациональной технологической ресурсной базы обучения и особенности управления самоорганизующейся системой.

***Ключевые слова:** система образования; подсистемы; синергетика; синергия; мониторинг; рациональная технологическая ресурсная база; образовательная услуга; многоуровневая система экономико-педагогического мониторинга; математическое моделирование; управление.*

*Управлять можно только тем, что можно измерить.
У. Шахарт*

ВВЕДЕНИЕ

Система образования ВУЗа является сложной, иерархической системой. Ключевые направления деятельности высшего учебного заведения, которое имеет организационно-правовую форму «Госунiversитет – УНПК» – учебное, научное, производственное, технологическое, финансово-экономическое и управление. Каждое из перечисленных направлений включает в себя значительный комплекс иерархических целей, задач, структурных подразделений и характеризуется определенной целостностью, автономностью и самостоятельностью. Поэтому мы имеем все основания, называть их подсистемами. Таким образом, мы выделяем шесть основных подсистем ВУЗа – учебную, научную, производственную, технологическую, финансово-экономическую и управления (рис. 1). Такая классификация не бесспорна и открыта для критики. Предлагаемая классификация подсистем включает в себя все основные направления деятельности и функции высшего учебного заведения как интегрированного учебно-научно-производственного комплекса.

Главной подсистемой является педагогическая. Финансово-экономическая подсистема играет главную (после педагогической) роль в рамках российского ВУЗа. Эта подсистема присуща как государственным, так и частным российским ВУЗам в силу ориентации последних на условно называемые «прикладные» специальности, востребованные национальной экономикой. Финансово-экономическая подсистема обеспечивает возможности и базу для должной реализации функций каждой подсистемы и организационно-экономическую деятельность ВУЗа в целом. Поэтому система образования является сложной экономической системой [1]. Все ее составные части взаимосвязаны друг с другом и образуют единое целое.

Экономические системы в условиях рынка открыты, нелинейны и неравновесны [2]. Подсистемы таких систем способны к самоорганизации, чувствительны к случайностям, способным переключать режимы эволюции. Нелинейность системы указывает на множественность реальных путей развития. По мере удаления системы от состояний равновесия возникают новые решения в так называемых точках бифуркаций. В принципе, бифуркация есть не что иное, как возникновение при некотором критическом значении параметров нового решения уравнений. Любое описание системы, претерпевающей бифуркации, включает и детерминистический, и вероятностный аспекты. Между двумя

точками последовательных бифуркаций выполняются детерминистические законы, но в окрестностях точек бифуркации существенную роль играют флуктуации, и именно они «выбирают» ветвь, которой будет следовать система [3].

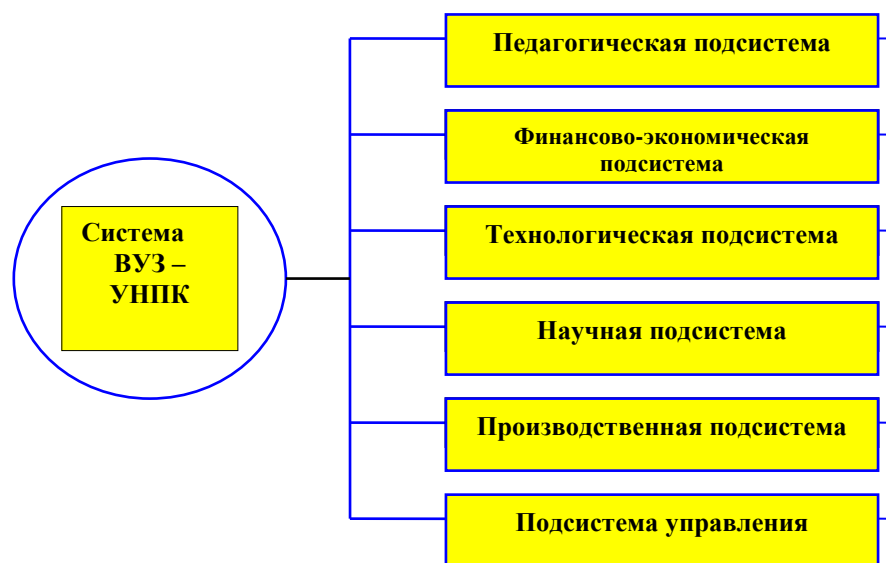


Рисунок 1 – Основные подсистемы ВУЗ – УППК

Столь важный в экономике эмерджентный эффект – это продукт взаимосогласованного сочетания параметров неравновесной системы, элементы которой действуют согласованно (корпоративно).

Мы считаем, что синергетический эффект в экономической системе образования может проявляться как результат интегративного взаимодействия всех подсистем. Синергия может приводить к изменению качественного состояния системы, путей её развития и к динамическому равновесию экономики с устойчивой траекторией развития. Изменение качественного состояния системы обуславливают стохастические взаимодействия между подсистемами, а динамическому равновесию – детерминированное поведение системы в целом.

Одна из особенностей образования заключается в тесном переплетении методов педагогического исследования с методами экономического анализа. При планировании развития системы образования ВУЗа следует учитывать его специфические особенности – тесную взаимосвязь педагогических и экономических процессов. При этом возможна большая, чем в отраслях материального производства, неопределенность в планировании, связанная с «живым» объектом воспроизводства, с его индивидуальными способностями и запросами.

Такая особенность системы образования обуславливает тот факт, что самоорганизация, синергетические эффекты в системе образования отличаются по своему содержанию от синергетических эффектов в естествознании. Мы выделяем следующие особенности синергетического подхода при изучении экономических процессов. Во-первых, синергетика изучает поведение сложных систем в условиях неопределенности, что позволяет изучить и предсказать различное поведение системы. Во-вторых, в экономических исследованиях необходимо учитывать «человеческий фактор», то есть поведение людей, их привычки, цели и эмоции, которые трудно формализовать. Поэтому в экономических исследованиях необходимо четко указать, где и каким образом учитывается «человеческий фактор», то есть поведенческие реакции [4]. Для системы образования важную роль играют качественные показатели, что и является важной ее особенностью как социальной системы. Основной причиной применения качественных оценок в социальной сфере, на наш взгляд, является то обстоятельство, что результат ее деятельности по отношению к человеку не имеет, как правило, вещественной формы, выступает в виде услуги.

Из высказываний известных советских педагогов и ученых середины 20-х годов прошлого века видно, что проблема педагогической самоорганизации и профессионального самосовершенствования была и является актуальной во все времена. Самоорганизация в системе высшего образования существует на уровнях личностной педагогической самоорганизации, личностной самоорганизации ученика (студента), самоорганизации образовательных систем и самоорганизации системы образования в целом [5, 6].

Однако педагогическая и финансово-экономическая подсистемы ВУЗа находятся в постоянном взаимодействии, взаимосвязаны. Этот факт позволяет сделать вывод о том, что самоорганизация в педагогической подсистеме приводит к самоорганизации в финансово-экономической подсистеме.

С точки зрения теории самоорганизации, одним из необходимых условий достижения системой нового качественного состояния является выявление ведущего звена общественного развития (чаще всего этим звеном является техническая или организационная инновация) и обеспечение его саморазвития.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВУЗА

Определяющим фактором повышения эффективности и качества инженерного образования является создание современной учебно-научно-производственной базы обучения (технологическая ресурсная база), что требует значительных финансовых вложений (рис. 2) [7]. В государственных субсидиях на данное направление инженерного образования они составляют 55-60%. Рациональное (разумное) использование доходов ВУЗа на создание технологической ресурсной базы образования является одним из главных направлений интенсификации деятельности ВУЗов и повышения ее результативности.



Рисунок 2 – Учебно-научно-производственная база ВУЗ – УНПК

Развитие концепции создания «рационального технологического ресурсного обеспечения» основывается на оценке качества образовательных услуг по освоению профессионально-инструментальных компетенций студентами при обучении на учебной, научной технологической ресурсной базе и при прохождении практики на производственной

базе предприятия. Такая оценка позволит выявить слабые и сильные места обучения. При этом рациональное (разумное) использование доходов ВУЗа на создание технологической ресурсной базы будет направлено на повышение качества и эффективности обучения [8, 9].

Большинство исследователей согласны с тем, что деятельность в сфере образования является деятельностью по оказанию услуг. По поводу производства услуги складываются все экономические отношения в сфере образования. Образовательная услуга – это комплексный процесс, направленный на передачу знаний, умений и навыков общеобразовательного, профессионального характера потребителю в рамках определенной образовательной программы, с целью удовлетворения потребностей потребителей, работодателей, государства [10, 11].

Оценку качества образовательных услуг, связанных с обучением на учебно-научно-производственной базе, целесообразно установить (определять) на основе результатов системного многоуровневого экономико-педагогического мониторинга по разработанной методике.

В соответствии с общепринятым в кибернетике и теории управления принципом обратной связи для эффективного управления любой системой необходимо иметь информацию о ее состоянии, его изменении и т.д. [12]. Мониторинг функционирования образовательной системы заключается в регулярном (с той или иной периодичностью или же постоянном) получении информации (как правило, количественной) о ее состоянии. Он позволяет замкнуть «петлю обратной связи» и не только оценивать текущее состояние, но и сравнивать его с плановым состоянием.

Качество мониторинга во многом определяется подготовительным этапом. При этом целесообразным является обратиться к «теории систем» [13]. Системное познание, предметом которого является качественно определенная система, предполагает:

- рассмотрение системы как ограниченного множества взаимодействующих элементов;
- определение состава, структуры и организации элементов и частей системы, обнаружение ведущих взаимодействий между ними;
- выявление внешних связей системы, выделение из них главных;
- определение и анализ функции системы;
- обнаружение на этой основе закономерностей и тенденций развития системы.

При проведении мониторинга формируется система показателей образовательных услуг при обучении на учебной (первый уровень), научной (второй уровень) и производственной (третий уровень) базе. Структурные компоненты (показатели) образовательной услуги показаны на рисунке 3. Они объединяют показатели:

- экономические, технические, эксплуатационные оборудования (ресурсная база);
- экономические о ППС;
- экономические и технологические о методических и организационных ресурсах;
- педагогические о требованиях ФГОС данного направления обучения;
- педагогические о качестве освоения компетенций (СМК).

Таким образом, мониторинговые исследования распространяются на все подсистемы системы образования ВУЗа. Такой мониторинг можно назвать системным многоуровневым мониторингом, который позволит:

- получить объективную и достоверную информацию о качестве образовательных услуг;
- установить качество освоения компетенций при обучении на учебной, научной технологической ресурсной базе и при прохождении производственной практики на предприятиях;
- провести анализ качества образовательных услуг и сделать выводы о состоянии обучения при использовании учебной, научной, производственной технологической базы соответственно;

– принять решение о финансовых расходах по улучшению обучения при использовании технологической ресурсной базы соответствующего уровня.

При этом рациональными, разумными считаются расходы финансовых ресурсов по результатам мониторинговой оценки качества образовательных услуг при освоении профессионально-инструментальных компетенций при работе на учебном, научном оборудовании, в компьютерных классах и на практике на производственных предприятиях.

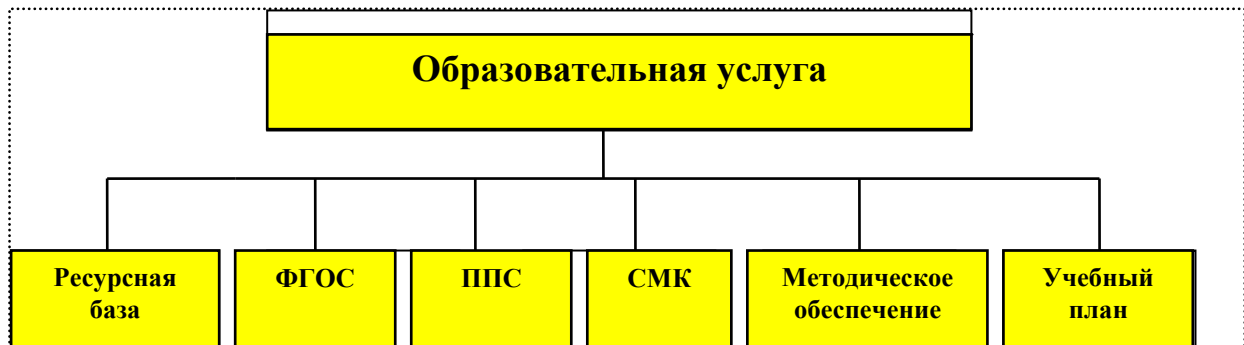


Рисунок 3 – Структурные компоненты образовательной услуги

Для самоорганизации системы образования важно, что рынок образовательных услуг охватывает все подсистемы системы образования [14]. Так образовательная услуга по освоению профессионально-инструментальных компетенций присутствует на всех ступенях образовательного процесса: при обучении в учебных и научных лабораториях и при прохождении производственных практик на производственных предприятиях. В этом процессе задействованы ППС кафедр, разработанные ими учебно-методические пособия, учебники и т.п., СМК ВУЗа, организация учебного процесса, ФГОС данного направления, ресурсная база (оборудование).

Образовательные услуги специфичны. Их специфика проявляется в сочетании традиционных характеристик услуги (неосязаемость, неотделимость от источника, непостоянство качества, несохраняемость) и особенностей, присущих только им. Так непостоянство образовательных услуг по качеству связано, прежде всего, с изменением квалификации персонала, материально-технической базы и других неотъемлемых от образовательного процесса элементов, а также с происходящими во внешней среде, в том числе на рынке труда, переменами. Предоставляться образовательные услуги одним и тем же преподавателем могут по-разному (в связи с уровнем его знаний, настроением, состоянием здоровья и т.п.), восприниматься студентом преподаваемый учебный материал может по-разному (в связи с его эмоциональным и физическим состоянием, уровнем его подготовленности, восприятием преподавателя и др.). Непостоянство образовательных услуг зависит и от мотивации, усердия, трудолюбия, предшествующей подготовки, способностей потребителя, места и времени оказания образовательной услуги. Все это приводит к флуктуациям в системе обучения, это и есть «человеческий фактор». Его можно учесть, контролируя освоение каждой компетенции. В связи с этим для каждого вида обучения (лекция, лабораторное занятие, практикум, семинар и т.п.) необходимо разработать контроль знаний, умений, навыков. Все это вместе можно назвать циклом контроля освоения компетенции. Такой цикл контроля предусмотрен при проведении мониторинга.

При проведении мониторинга предлагается рассматривать образовательный процесс на трех уровнях: обучение с использованием учебной технологической ресурсной базы, обучение с использованием научной технологической ресурсной базы, обучение при прохождении производственных практик на оборудовании предприятий. Однако согласно ФГОС, эти процессы представляют собой единый образовательный процесс по подготовке специалиста. Для него должны выполняться принципы системности и преемственности. Но возможны и такие случаи, когда выполнение этих принципов нарушено (человеческий

фактор). В мониторинговых исследованиях предусмотрена проверка выполнения принципов системности и преемственности при освоении профессионально-инструментальных компетенций данного направления обучения. Выполнение этих принципов является связующим звеном для трех уровней обучения и будет способствовать изменению качественного состояния системы путем ее развития.

Мониторинг следует проводить с позиций синергетического подхода. Под синергетическим подходом мы будем понимать метод научного познания, в основе которого лежит системный анализ саморазвивающихся, эволюционирующих систем, которым присущи периоды расцвета и упадка. В системах можно выделить динамические аттракторы, то есть процессы самоорганизации информации и возникновение новых параметров порядка, а также точки бифуркации. В точках бифуркации решающее значение имеют флуктуации, т.е. стохастические процессы [4].

Мониторинг каждого уровня позволит внести элемент организации в процесс обучения на данном уровне (начальной стадии становления сложной системы) и организовать образовательный процесс обучения освоению профессионально-инструментальных компетенций в целом. Топологически правильная организация подсистем приводит к тому, что приближается момент обострения, момент максимального развития системы, что приводит к синергетическому эффекту. Во всей объединенной области устанавливается новый, более высокий темп развития. Целое развивается быстрее составляющих его частей. Выгодно развиваться вместе, ибо это приводит к экономии материальных, духовных и других затрат [6]. Можно предположить, что аттрактором является качественно новое состояние системы, которое характеризуется повышением качества образовательного процесса.

Самоорганизация педагогической подсистемы будет содействовать динамическому равновесию экономической подсистемы, ее самоорганизации с устойчивой траекторией развития, которая определяется рациональным и эффективным использованием доходов ВУЗа в результате организации рациональной учебно-научно-производственной технологической базы обучения.

На основе данных мониторинга необходимо построить математическую модель системы. Постановка вопроса о математическом моделировании системы порождает четкий план действий, этапы которого составляют известную триаду: модель – алгоритм – программа. В случае построения математических моделей экономических систем требуется предварительное использование информационных систем для численного определения ряда экономических величин, играющих в построении синергетических уравнений роль параметров порядка или управляющих параметров. При этом, если самоорганизация выступает объективным основанием для активизации развития системы, то организация является способом упорядочивания отмеченной инициативы в том или ином виде. Самоорганизация может привести и к негативным последствиям, поэтому она нуждается в корректировке и поддержке со стороны управляющих параметров. Поэтому целью управления является создание условий для согласованного взаимодействия элементов системы, которое бы обеспечило и функционирование элементов, и существование всей системы в целом, обеспечило бы сохранение и развитие системы образования, создание условий для развития коммуникативных связей между подсистемами образовательного комплекса.

Управление может осуществляться в соответствии со следующими принципами [15, 16]. Принцип многообразия подразумевает, что в случае, когда цель управления – создание условий для развития коммуникативных связей, управление ориентировано на создание и поддержку многообразия существующих и возникающих связей между элементами системы образовательного пространства. Принцип единства утверждает, что любое управление невозможно без организации устойчивых связей, форм общности элементов сложившегося многообразия, подчинено единой цели, что, в свою очередь, ограничивает степени свободы каждого из элементов. На первый взгляд эти принципы противоречат друг другу.

Следование одному исключает действие другого. Искусство управления открытой системой образовательного пространства состоит в том, чтобы обеспечить развитие многообразия и сохранить одновременно стабильность структуры образовательного пространства. Это возможно только в том случае, когда эти принципы будут использоваться как дополняющие, взаимообуславливающие, а не исключают друг друга.

В открытой системе новые элементы многообразия, возникающие спонтанно, угрожают сложившейся системе связей, требуют своего места в этой системе, вторгаются в нее, нарушая ее единство. Для сохранения этого единства необходимо, чтобы управление носило превентивный характер, предвидело возникновение новых элементов, поддерживало гибкость, вариативность связей между элементами, сохраняло определенную меру их свободы. Это позволит сохранить единство элементов в их отношении друг к другу, обеспечить условия для возникновения новых элементов, повышения степени многообразия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предпосылками синергетического эффекта при мониторинговых исследованиях системы образования ВУЗа являются:

- синергетические свойства системы образования (нелинейность, сложность, структурность и др.);
- использование образовательной услуги, как основного параметра мониторинговых исследований;
- принцип синергетики приоритета развития целого;
- принцип синергетики взаимодействия самоорганизации и организации, случайного и необходимого.

Особенность управления синергетической системой будет состоять в том, чтобы обеспечить условия отбора не директивного, а естественного характера, соответствующего собственным тенденциям развития системы.

Применение информационных технологий позволит создать автоматизированную систему управления образовательным процессом, что направлено на повышение эффективности системы образования ВУЗа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асаул А.Н., Капаров Б.М. Управление высшим учебным заведением в условиях инновационной экономики: монография // под ред. д.э.н, проф. А.Н. Асаула / СПб.: «Гуманистика», 2007. – 280 с.
2. Грунина О.А. Формирование финансового синергетического эффекта в экономике России: 08.00.10 «Финансы, денежное обращение, кредит»: автореферат дис. на соиск. д-ра экон. наук. – М.: РГБ ОД, 71:04-13/159 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.disserr.com/contents/115081.html>.
3. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов / под ред. Н.С. Акулова; пер. В.В. Михайлова. – 2-е изд. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 160 с.
4. Софронов А.Е. Синергетический подход к исследованию экономических процессов и явлений: на примере рынка образовательных услуг: 08.00.01 «Экономическая теория»: автореферат дис. на соиск. кан-та экон. наук [Электронный ресурс]. – URL: www.dissercat.com/cart/checkout/complete#ixzz2QQ6FL5Ie.
5. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего. – 2-е изд. / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Мапинецкий. – М.: Эудиториал УРСС, 2001. – 288 с.
6. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М.: Наука, 1994. – 236 с.
7. Тарасова М.А. Инженерное образование. Состояние и развитие учебно-научно-производственной базы: монография. – Орел: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», 2013. – 227 с.

8. Тарасова М.А. Экономический аспект развития учебно-научно-производственной базы инженерного образования // «Международный журнал экспериментального образования», 2012. – 17 с.
9. Тарасова М.А., Коськин А.В. Концепция построения экономико-математической модели рациональной ресурсной базы инженерного образования // Информационные системы и технологии, 2013. – № 2(76). – С. 49-58.
10. Игнатов В.Г., Батурич Л.А., Бутов В.И., Уварова Г.Г., Ходарев С.В., Элланский Ю.Г. Экономика социальной сферы: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: издательский центр «МарТ», 2001. – 416 с.
11. Баталова О.С. Специфика образовательной услуги как основа маркетинговой политики ВУЗа // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Москва, апрель 2011 г.). – Т. II. – М.: РИОР, 2011. – С. 7-12.
12. Новиков Д.А. Теория управления образовательными системами. – М.: Народное образование, 2009. – 273 с.
13. Богданов А.А. Тектология (всеобщая организационная наука). – В 2-х кн. – М.: Экономика, 1989. – 303 с., 350 с.
14. Баталова О.С. Специфика образовательной услуги как основа маркетинговой политики ВУЗа // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Москва, апрель 2011 г.). – Т. II. – М.: РИОР, 2011. – С. 7-12.
15. Mandelbrot B. The fractal geometry of Nature. – San Francisco: W.H. Freeman, 1982.
16. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой; пер. с англ. / под общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачкова. – М.: «Прогресс», 1986. – 432 с.

Тарасова Маргарита Александровна

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, зав. лаборатории «Новые технологии образования»

Тел.: 8 (4862) 41-98-89

E-mail: martar1@yandex.ru

Власов Виктор Викторович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант

Тел.: 8 (4862) 33-63-39

E-mail: vlasv-viktr@rambler

M.A. TARASOVA (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory « New technology education»*)

V.V. VLASOV (*Post-graduate Student*)
State University – ESPC, Orel

SYNERGETIC EFFECT AT MONITORING RESEARCHES OF THE EDUCATION SYSTEM OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION

Now researches on studying of the reasons and conditions of emergence of synergetic effects in education are perspective. The purpose of such researches is improvement of quality and efficiency of education. Problems of such researches, in particular, are development of mathematical model of synergetic system and synergetic approaches to operating parameters. In article preconditions of emergence of synergetic effect in the HIGHER EDUCATION INSTITUTION education system on the example of monitoring researches of rational technological resource base of training and feature of management of self-organizing system are shown.

Keywords: *education system; subsystems; synergetics; synergy; monitoring; rational technological resource base; educational service; multilevel system of economical and pedagogical monitoring; mathematical modeling, management.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Asaul A.N., Kaparov B.M. Upravlenie vy'sshim uchebny'm zavedeniem v usloviyax innovacionnoj e'konomiki: monografiya // pod red. d.e'n, prof. A.N. Asaula / SPb.: «Gumanistika», 2007. – 280 s.
2. Grunina O.A. Formirovanie finansovogo sinergeticheskogo e'ffekta v e'konomike Rossii: 08.00.10 «Finansy', denezhnoe obrashhenie, kredit»: avtoreferat dis. na soisk. d-ra e'kon. nauk. – M.: RGB OD, 71:04-13/159 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.disserr.com/contents/115081.html>.
3. Prigozhin I. Vvedenie v termodinamiku neobratimy'x processov / pod red. N.S. Akulova; per. V.V. Mixajlova. – 2-e izd. – M.: Izhevsk: NIZ «Regulyarnaya i xaoticheskaya dinamika», 2001. – 160 s.
4. Sofronov A.E. Sinergeticheskij podxod k issledvaniyu e'konomicheskix processov i yavlenij: na primere ry'nka obrazovatel'ny'x uslug: 08.00.01 «E'konomicheskaya teoriya»: avtoreferat dis. na soisk. kan-ta e'kon. nauk [E'lektronny'j resurs]. – URL: www.dissercat.com/cart/checkout/complete#ixzz2QQ6FL5Ie.
5. Kapiczka S.P. Sinergetika i prognozy' budushhego. – 2-e izd. / S.P. Kapiczka, S.P. Kurdyumov, G.G. Mapineczkij. – M.: E'uditorial URSS, 2001. – 288 s.
6. Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P. Zakony' e'voljucii i samoorganizacii slozhny'x sistem. – M.: Nauka, 1994. – 236 s.
7. Tarasova M.A. Inzhenernoe obrazovanie. Sostoyanie i razvitie uchebno-nauchno-proizvodstvennoj bazy': monografiya. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2013. – 227 s.
8. Tarasova M.A. E'konomicheskij aspekt razvitiya uchebno-nauchno-proizvodstvennoj bazy' inzhenernogo obrazovaniya // «Mezhdunarodny'j zhurnal e'ksperimental'nogo obrazovaniya», 2012. – 17 s.
9. Tarasova M.A., Kos'kin A.V. Konceptiya postreniya e'konomiko-matematicheskoy modeli racional'noj resursnoj bazy' inzhenernogo obrazovaniya // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2013. – № 2(76). – S. 49-58.
10. Ignatov V.G., Baturin L.A., Butov V.I., Uvarova G.G., Xodarev S.V., E'llanskij Yu.G. E'konomika social'noj sfery': uchebnoe posobie. – Rostov-na-Donu: izdatel'skij centr «MarT», 2001. – 416 s.
11. Batalova O.S. Specifika obrazovatel'noj uslugi kak osnova marketingovoj politiki VUZa // Aktual'ny'e voprosy' e'konomiki i upravleniya: materialy' mezhdunar. zaoch. nauch. konf. (g. Moskva, aprel' 2011 g.). – T. II. – M.: RIOR, 2011. – S. 7-12.
12. Novikov D.A. Teoriya upravleniya obrazovatel'ny'mi sistemami. – M.: Narodnoe obrazovanie, 2009. – 273 s.
13. Bogdanov A.A. Tektologiya (vseobshhaya organizacionnaya nauka). – V 2-x kn. – M.: E'konomika, 1989. – 303 s., 350 s.
14. Batalova O.S. Specifika obrazovatel'noj uslugi kak osnova marketingovoj politiki VUZa // Aktual'ny'e voprosy' e'konomiki i upravleniya: materialy' mazhdunar. zaoch. nauch. konf. (u. Moskva, aprel' 2011 g.). – T. II. – M.: RIOR, 2011. – S. 7-12.
15. Mandelbrot B. The fractal geometry of Nature. – San Francisco: W.H. Freeman, 1982.
16. Prigozhin I., Stengers I. Poryadok iz xaosa: novy'j dialog cheloveka s prirodoy; per. s angl. / pod obshh. red. V.I. Arshinova, Yu.L. Klimontovicha, Yu.V. Sachkova. – M.: «Progress», 1986. – 432 s.

УДК 004.773

В.Т. ЕРЁМЕНКО, Д.В. АНИСИМОВ,
Д.А. КРАСНОВ, С.А. ВОРОБЬЁВ

**ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ УСЛУГ
В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ АСУТП
ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ И ВНЕПРОТОКОЛЬНЫХ ПРЕРЫВАНИЙ**

В статье предложен подход к оценке производительности беспроводной сети передачи данных АСУТП газотранспортного предприятия в условиях воздействия помех с учётом асинхронного и синхронного способа доставки сообщений.

Ключевые слова: модель; беспроводная сеть передачи данных; пропускная способность; столкновение процессов.

ВВЕДЕНИЕ

Газотранспортное предприятие (ГТП) – это территориально распределенный объект с многоуровневой иерархией управления и большим количеством подразделений. Для его функционирования необходима информационная инфраструктура, позволяющая вести обмен данными и обеспечивать управление между его составляющими элементами. Задачей автоматизации ГТП является создание единого информационного пространства для объективной и оперативной оценки текущей ситуации, быстрого принятия оптимальных управленческих решений, ликвидации информационных и организационных барьеров между управленческим и технологическим уровнями. В свою очередь, организация единого информационного пространства невозможна без создания надежного механизма сбора первичной технологической информации и ее передачи на вышестоящие уровни управления и принятия решений. Задача сбора детальных технологических данных и оперативного управления производством на их основе традиционно решается с применением разного рода автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) [1].

АСУТП ГТП обеспечивает автоматизированный контроль и управление объектами транспортировки газа. Его компоненты сочетают в себе возможность для масштабирования и интеграции новых программных приложений, а также имеют высокий уровень надежности и резервирования, большой потенциал для развития функциональных возможностей диспетчерского управления с отработкой технических решений на основе современных информационных технологий и программно-технических средств.

На современном этапе развития сетевых технологий актуальным становится использование беспроводных сетей передачи данных (СПД) в составе АСУТП ГТП, что обусловлено высокой скоростью проектирования и реализации таких сетей, возможностью динамического изменения топологии, приемлемой скоростью передачи данных, отсутствием кабельной составляющей. Особенностью построения АСУТП ГТП является воздействие помех на беспроводные СПД, что должно быть учтено при их проектировании, внедрении и использовании [2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данная работа ставит своей целью построение модели оценка производительности сегмента беспроводной СПД АСУТП ГТП в условиях воздействия помех. Рассмотрим беспроводную сеть, состоящую из N станций СПД АСУТП ГТП. На каждую станцию с одинаковой интенсивностью λ поступает однородный (пуассоновский) поток

пакетов и одинаковым распределением $D(l_j)$ длин пакетов l_j . Элементы сети работают в распределенном режиме управления DCF. Пакеты считаются переданными асинхронно, если в момент прихода пакета станция была в состоянии простоя и канал был свободен в течение t_{DIFS} или t_{EIFS} (не меньше). Поэтому асинхронная передача происходит только при отсутствии синхронных передач других станций, а так как $\lambda N_\sigma \ll 1$, то можно считать, что за время одного слота задержки в сети может произойти не более одной асинхронной передачи.

Для решения поставленной задачи вводятся следующие ограничения:

- очередь пакетов элементов сети может содержать не более B пакетов;
- время распределения сигнала пренебрежимо мало;
- асинхронная передача всегда успешна.

Решение задачи сводится к нахождению среднего значения времени обслуживания пакета T , отсчитываемого либо от момента поступления пакета в пустую очередь данной станции, либо от окончания обслуживания предыдущего пакета из этой очереди и до момента получения подтверждения АСК или истечения интервала t_{EIFS} после последней неудачной попытки передачи (т.е. в случае потери пакета).

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ И ВНЕПРОТОКОЛЬНЫХ ПРЕРЫВАНИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ БЕСПРОВОДНОЙ СПД АСУТП ГТП

Для оценки среднего значения времени обслуживания пакета T была построена модель беспроводного элемента СПД АСУТП ГТП в виде цепи Маркова с дискретным целочисленным временем задержки, единицей которой является виртуальный слот – промежуток времени между последовательным изменением счетчика задержки у каждого элемента, не находящейся в состоянии простоя.

Пусть $b(t)$ – стохастический процесс изменения счетчика задержки для данного элемента, времена t и $t+1$ соответствуют началу двух последовательных виртуальных слотов, причем элемент сети передает, когда $b(t)=0$. В то же время $s(t)$ – стохастический процесс изменения стадии задержки $0, \dots, m$, – расширенный значением -1 для ситуации, когда в очереди нет пакета.

В исследовании [3] учтено, что эти времена не имеют прямого соответствия реальному времени и виртуальные слоты неоднородны. Также учтено, что счетчик задержки фиксируется, если элемент сети замечает передачу другой станции. Поэтому реальное время, прошедшее между t и $t+1$, больше слота задержки σ при наличии передачи другого элемента [4]. Существуют следующие виды виртуальных слотов: слот «столкновения», во время которого произошло столкновение процессов; «свободный» слот, во время которого ни один элемент сети не вел передачу; «успешный» слот, когда только один элемент сети вел передачу.

Это позволяет описать цепью Маркова двухмерный процесс $\{s(t), b(t)\}$. Этому процессу соответствуют следующие состояния:

состояние простоя элемента сети $(-1, 0)$;

состояние $(-1, 1, \dots, W_0 - 1)$, когда элемент сети не имеет пакета для передачи, но выполняет процедуру задержки после удачной передачи или отказа;

состояние (i, k) , когда элемент сети имеет пакет и выполняет процедуру задержки, где $k = 0, \dots, W_i - 1$ и характеризует значение счетчика задержки, а $i = 0, \dots, m$, и характеризует стадию задержки. Исходя из этого, можно записать:

$$\sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \alpha(i, k) + \sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = 1. \quad (1)$$

Сумма стационарных вероятностей для $i \in (1, m)$ и $k \in (0, W_i - 1)$, т.е. состояний, соответствующих процедуре задержки при имеющемся пакете для передачи и уже на первой попытке передать его, может быть описана формулой:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \alpha(i, k) = \sum_{i=1}^m \frac{W_i + 1}{2} p^i \alpha(0, 0). \quad (2)$$

Для состояния $i = -1$ и $k \in (1, W_0 - 1)$, соответствующему процедуре задержки после удачного переданного пакета или отказа, но при отсутствии пакета для передачи, получаем:

$$\sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = \hat{P}_0 W_0 \alpha(0, 0) / C. \quad (3)$$

Возможны три случая развития событий в процессе передачи пакета:

произошла успешная синхронная передача. При этом вероятность поступления пакета в этом случае равна $Q_S^S P_T$, где $Q_S^S = (N - 1)\tau(1 - \tau)^{N-2}$ – условная вероятность этого случая;

произошла асинхронная передача. В этом случае необходимо сделать допущение о том, что за один виртуальный слот может произойти только одна успешная асинхронная передача. Тогда условная вероятность этого события равна $Q_A = (N - 1)\tau^a$, а вероятность поступления пакета равна $Q_A P_T$;

произошло столкновение процессов. В этом случае вероятность поступления пакета равна $Q_S^C P_C$, где $Q_S^C = 1 - Q_E - Q_S^S - Q_A$ – вероятность столкновения процессов, в которых не участвует данный элемент сети.

Следовательно:

$$P_S^F = (Q_S^S + Q_A) P_T + Q_S^C P_C. \quad (4)$$

Пакеты, приходящие на станцию, не занятую обслуживанием других пакетов, с вероятностью p_a обслуживаются асинхронно в течение времени $t_j^S - t_{DIFS}$ (при длине пакета l_j). В остальных случаях они поступают в буфер размером B и обслуживаются синхронно в течение случайного времени со средним значением T_S .

Процесс изменения очереди показан на рисунке 1.

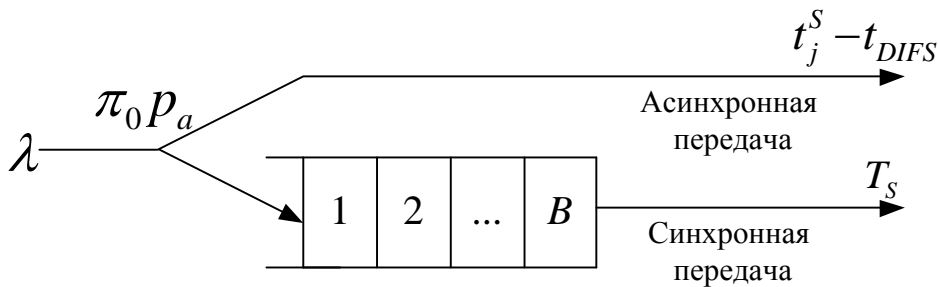


Рисунок 1 – Процесс изменения очереди

Оценка времени синхронного обслуживания производится, исходя из предположения, что время распределено экспоненциально. В этом случае изменение очереди синхронного обслуживания пакетов можно описать процессом рождения – гибели, стационарная вероятность состояния i которого равна $\pi_i = \pi_0 \lambda_0 T_S^i \lambda^{i-1}$, где $i = 1, \dots, B$, а $\lambda_0 = (1 - p_a)\lambda$. Следовательно, вероятность опустошения очереди после завершения синхронного

обслуживания равна $P_0 = \frac{\pi_1}{1 - \pi_0}$, а так как $\pi_0 = \frac{1}{1 + (1 - p_a) \sum_{i=1}^B (\lambda T_s)^i}$, то

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^B (\lambda T_s)^{i-1}} = \frac{1 - \lambda T_s}{1 - (\lambda T_s)^B}.$$

С учетом асинхронной передачи, получено среднее время, затрачиваемое на обслуживание пакета:

$$T = \frac{\pi_0 P_a}{1 - \pi_B} \sum_j (t_j^S - t_{DIFS}) D(l_j) + \frac{(1 - \pi_0 P_a - \pi_B)}{1 - \pi_B} T_s. \quad (5)$$

Здесь первая часть выражения описывает асинхронный, а вторая синхронный механизм передачи.

Отказ в обслуживании пакета может произойти в следующих случаях: при полном заполнении очереди, когда количество пакетов в ней равно B (вероятность события π_B);

при исчерпании количества попыток на передачу пакета (вероятность события $p^{m+1}(1 - p_a)$).

Очевидно, что вероятность отказа в обслуживании пакета будет: $p_r = 1 - (1 - \pi_B) [1 - p^{m+1}(1 - p_a)]$

В соответствии с формулой Литтла найдено среднее время задержки пакета на MAC-уровне, т.е. среднее время пребывания на данной станции, включая возможное ожидание в очереди и обслуживание, равно:

$$\begin{aligned} T_{MAC} &= \frac{\pi_0 P_a}{1 - \pi_B} \sum_j (t_j^S - t_{DIFS}) D(l_j) + \frac{(1 - \pi_0 P_a - \pi_B)}{1 - \pi_B} \frac{\sum_{i=1}^{B_n} i \pi_i}{\lambda_0 \pi_0 + \sum_{i=1}^{B_n-1} \lambda \pi_i} = \\ &= \frac{\pi_0 P_a}{1 - \pi_B} \sum_j (t_j^S - t_{DIFS}) D(l_j) + \frac{1}{(1 - \pi_B) \lambda} \sum_{i=1}^{B_n} i \pi_i. \end{aligned} \quad (6)$$

Предполагается, что передаваемые пакеты искажены помехами и вносимые искажения статистически независимы, что имеет место, как в случае канала с аддитивным гауссовским шумом. Интенсивность помех (Bit Error Rate – BER) считается постоянной и не зависящей от расположения источника и получателя пакетов. На практике, в отличие от случая идеального канала, асинхронная передача может быть неудачной из-за искажения пакетов радиопомехами.

Поэтому для состояний $i = 1$ и $k \in (0, W_1 - 1)$, соответствующих второй попытке передачи, стационарные вероятности можно записать так:

$$\alpha(1, k) = \frac{W_1 - k}{W_1} [\hat{p}_0 \alpha(0, 0) + P_s^E q_0 \alpha(-1, 0)]. \quad (7)$$

Для $i = -1$ и $k \in (1, W_0 - 1)$, т.е. состояний, соответствующих процедуре задержки после удачного переданного пакета или отказа, но при отсутствии пакета для передачи получаем:

$$\sum_{k=0}^{W_0-1} \alpha(-1, k) = \left[E + E_1 \sum_{k=1}^{W_0-1} A(k) \right] \alpha(0, 0). \quad (8)$$

Вероятность синхронной передачи данной станции:

$$\tau = \sum_{i=0}^m \alpha(i, 0) = \left[1 + D \left(1 + \sum_{i=2}^m \prod_{j=1}^{i-1} \hat{p}_j \right) \right] \alpha(0, 0). \quad (9)$$

Предположим, что короткий служебный кадр АСК, а также РНУ-заголовок, передаваемый надежно на малой скорости, не искажаются помехами. Тогда вероятность искажения пакета DATA с длиной l_i равна:

$$\xi(l_i) = 1 - (1 - \text{BER})^{H_{\text{MAC}} + l_i}. \quad (10)$$

Тогда вероятность прихода хотя бы одного пакета на данную станцию за время синхронной передачи другой станции, происходящей в «успешном» слоте, равна:

$$P_T = 1 - \sum_i \left\{ [1 - \xi(l_i)] e^{-\lambda t_s^i} + \xi(l_i) e^{-\lambda t_c^i} \right\} \mathcal{P}^*(l_i) \quad (11)$$

Также предположим, что пакеты, приходящие на станцию, не занятую обслуживанием других пакетов, с вероятностью $p_a(1 - q)$ обслуживаются асинхронно и поэтому успешно в течение $t_s^i - t_{\text{DIFS}}$. Асинхронные пакеты, терпящие неудачу, и все остальные пакеты поступают в буфер размером B и обслуживаются синхронно в течении случайного времени со средним значением T_s .

Установлено, что синхронно могут обслуживаться два вида пакетов:
 поступающие сразу в буфер;
 поступающие в буфер после неудачной попытки асинхронной передачи.

Тогда T_s будет определяться следующим выражением:

$$T_s = \frac{(1 - \pi_0 p_0) T_{s1} + \pi_0 p_a q_0 T_{s2}}{1 - \pi_0 p_a (1 - q_a)}, \quad (12)$$

где T_{s1} – среднее время обслуживания по синхронному механизму пакета, поступающего сразу в буфер, T_{s2} – среднее время обслуживания по синхронному механизму пакета, поступающего в буфер после неудачной попытки асинхронной передачи.

Для нахождения вероятности p_a и среднего времени T_{s1} необходимо сделать следующие допущения:

- пакеты поступают в пустую очередь в течение интервала подтверждения успешной передачи пакета;
- первый пакет, поступивший в течение каждого из слотов, поступает в пустую очередь, что приводит к сокращению среднего времени до первой попытки передачи;
- пакеты поступают в течение слота во время передачи другой станции;
- пакеты поступают в течение асинхронной передачи этой станции.

В результате получено выражение для среднего времени обслуживания пакета с учетом асинхронной передачи:

$$T = \frac{\pi_0 p_a (1 - q_0)}{1 - \pi_B} \left[\frac{\sum_j (t_s^j - t_{\text{DIFS}}) (1 - \xi(l_j)) D(l_j)}{\sum_h (1 - \xi(l_h)) D(l_h)} \right] + \frac{1 - \pi_0 p_a (1 - q_0) - \pi_B}{1 - \pi_B} T_s. \quad (13)$$

Вероятность отказа в обслуживании пакета:

$$p_r = 1 - (1 - \pi_B) \left[(1 - p_a) \hat{p}_0 + p_a q_0 \right] \prod_{j=0}^m \hat{p}_j. \quad (14)$$

Установлено, что отказ происходит в следующих случаях:

- при полном заполнении очереди, когда количество пакетов в ней равно B ;
- при исчерпании количества попыток на передачу пакета.

Исходя из полученного выражения (6), среднее время задержки пакета с учётом воздействия непротокольных прерываний будет иметь следующий вид:

$$T_{MAC} = \frac{\pi_0 P_a (1 - q_0)}{1 - \pi_B} \sum_j (t_S^j - t_{DIFS}) D(l_j) + \frac{[1 - \pi_0 P_a (1 - q_0) - \pi_B]}{1 - \pi_B} \frac{\sum_{i=1}^B i \pi_i}{\lambda_0 \pi_0 + \sum_{i=1}^{B-1} \lambda \pi_i}. \quad (15)$$

При этом $R_E = (1 - \tau - \tau^a)^N$ – вероятность того, что этот слот пустой, $R_S = N\tau(1 - \tau)^{N-1}$ – вероятность того, что в этот слот произошла синхронная передача, успешная или неуспешная из-за искажения, а $R_A = N\tau^a$ – вероятность того, что в этот слот произошла асинхронная передача, также успешная или неуспешная из-за искажения. И $R_C = 1 - R_S - R_E - R_A$ – вероятность неудачной передачи из-за непротокольных прерываний. В результате пропускная способность равна:

$$S = \frac{R_S \sum_j l_j (1 - \xi(l_j)) D^*(l_j) + R_A \sum_j l_j (1 - \xi(l_j)) D(l_j)}{R_E \sigma + R_S \sum_j \hat{t}_S^j D^*(l_j) + R_A \hat{T}_A + R_C \sum_i t_i^C D_i^C}. \quad (16)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассматривая в качестве базовых протоколы стандарта 802.11 для построения беспроводных сетей АСУТП ГТП, необходимо отметить, что они функционируют на физическом и канальном уровнях. На канальном уровне (уровне доступа к среде передачи данных, MAC – Media Access Control) вне зависимости от реализации на физическом уровне используется одинаковый алгоритм взаимодействия и совместного использования среды между узлами сети. В связи с этим разрабатываемая модель будет актуальна для протоколов семейства 802.11.

Рассмотрим случай, когда канал не идеален и помехи ухудшают производительность сети. Одним из следствий влияния помех является рост вероятности отказа, который происходит по двум причинам:

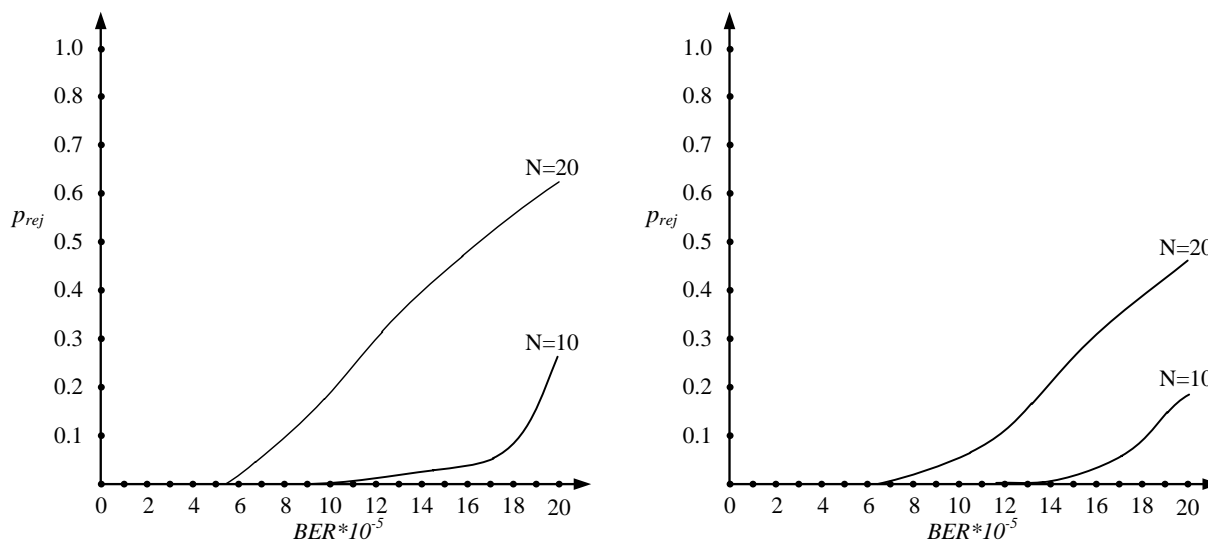
- увеличивается среднее время обслуживания пакета, что ведет к увеличению вероятности переполнения очереди;
- растет вероятность неудачной передачи пакета из-за его искажения, источниками которого теперь являются не только столкновения процессов, но и радиопомехи, а, следовательно, увеличивается и вероятность отказа в дальнейшей передаче из-за достижения предельного числа попыток.

В связи с этим в качестве основного показателя производительности, исследуемого в данном разделе, выбрана вероятность отказа. Предельные значения N_s и N_d – числа неудачных попыток передачи коротких и длинных кадров – оказывают значительное влияние на вероятность потери пакета. Если они малы, пакет с большей вероятностью теряется из-за исчерпания допустимого числа попыток передачи. Их большое значение может увеличивать среднее время обслуживания пакета и, следовательно, привести к росту вероятности потери пакета из-за переполнения очереди. Исследуем случай, когда все пакеты передаются с помощью механизма основного доступа. Поэтому в качестве управляемого параметра, который мы будем оптимизировать, выберем предельное число неудачных попыток передачи коротких кадров $N_s = m$. Это, в частности, позволит нам исследовать разработанную аналитическую модель.

Исследуем влияние интенсивности помех BER на вероятность отказа p_{rej} , варьируя также остальные параметры трафика и конфигурации сети. При получении результатов этого исследования длина пакета l предполагалась постоянной. Значения параметров протокола остаются те же, что и в [3].

Вероятность отказа сильно возрастает, начиная с интенсивности помех $BER = 5 * 10^{-5}$, причем скорость этого роста существенно зависит как от интенсивности поступления

пакетов на отдельную станцию сети λ , так и от числа станций N . Принимать во внимание нужно именно суммарную интенсивность поступления пакетов.



б)

Рисунок 3 – Зависимости вероятности отказа от интенсивности помех для разного числа станций: а) для $m=7$, б) для $m = m_{onm}$

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В БЕСПРОВОДНЫХ СПД АСУТП ГТП

Методика состоит из следующих этапов:

Этап 1. Разбиение времени работы сети на виртуальные временные интервалы.

Виртуальные интервалы представляют собой:

- интервал «отсрочки» σ , в котором ни один из элементов сети не ведет передачу;
- временной «синхронный» интервал, в котором только один из элементов сети передает пакет синхронно, т.е. успешно;
- временной «асинхронный» интервал, в котором один из элементов сети передает пакет асинхронно;
- интервал «непротокольного прерывания», в котором два или более элемента сети пытаются осуществить передачу, т.е. происходит столкновение процессов.

Выявлено, что вероятности этих виртуальных временных интервалов, обозначаемые соответственно $p_e(n)$, $p_s(n)$, $p_a(n)$ и $p_c(n)$, зависят только от числа «активных» элементов сети n , очереди которых непустые в начале данного виртуального интервала.

Для определения вероятностей рождения $\lambda(\ell)$, т.е. увеличения ℓ на 1 временной интервал, и гибели $\mu(\ell)$, т.е. уменьшения ℓ на 1 временной интервал, считалось, что в течение попытки передачи (включая завершающие ее интервалы DIFS или EIFS) в очереди станций может поступить не более одного пакета.

Этап 2. Оценка среднего времени задержки виртуального интервала.

Для определения среднего времени задержки T использовалась формула Литтла:

$$T = L / \Lambda_q, \tag{17}$$

где L – среднее значение ℓ , Λ_q – среднее число пакетов, принятых элементами сети в их очередь за секунду. Очевидно, L можно вычислить по формуле:

$$L = \frac{1}{E[t_{vs}]} \sum_{\ell=0}^{NB} \pi(\ell) \sum_{n=n_{\min}(\ell)}^{\min(N,\ell)} \gamma(n,\ell) [p_e(n) \bar{\ell}_e^n + p_a(n) \bar{\ell}_a^n + p_s(n) \bar{\ell}_s^n + p_c(n) \bar{\ell}_c^n], \tag{18}$$

где $E[t_{vs}]$ – средняя длительность виртуального временного интервала, $\bar{\ell}_e^n, \bar{\ell}_a^n, \bar{\ell}_s^n, \bar{\ell}_c^n$ – средние значения ℓ в течение соответственно пустых, асинхронных, успешных и внепротокольных виртуальных временных интервалов, причем каждое из этих значений умножено на среднюю длительность соответствующего интервала, рассчитанного при данном n . Интенсивность поступления Λ_q определялась по формуле, аналогичной (18) с заменой $\bar{\ell}^n$ с различными индексами на $\bar{h}_e^n, \bar{h}_a^n, \bar{h}_s^n$ и \bar{h}_c^n – средние количества пакетов, принятых в очереди станций в течение соответственно пустых, асинхронных, успешных и внепротокольных интервалов.

Эман 3. Оценка вероятности отказа виртуального интервала.

Установлено, что усредненная вероятность отказа p_{rej} , возникает из-за переполнения очереди элемента сети либо истечения числа R повторных передач. Определенно выражение для среднего числа пакетов, поступающих в очереди элементов беспроводной СПД за виртуальный временной интервал, равной $N\Lambda E[t_{vs}]$, обслуживание которых завершается в течение данного интервала:

$$p_{rej} = 1 - \frac{1}{NE[t_{vs}]} \sum_{\ell=0}^{NB} \pi(\ell) \sum_{n=n_{\min}(\ell)}^{\min(N,\ell)} \gamma(n,\ell) [p_a(n) + p_s(n)]. \quad (19)$$

Эман 4. Оценка влияния помех на искажение пакета.

В результате диссертационного исследования определено, что неудача передачи возможна из-за двух причин – внепротокольного прерывания и помех; она равна $\xi(n) = 1 - (1 - q)(1 - \tau(n))^{n-1}$.

Из-за наличия помех понятие «успешного» интервала является условным, так как, несмотря на отсутствие столкновений процессов в этом виртуальном временном интервале передача пакета может быть неудачной из-за искажения помехами. В этом случае длительность «успешного» интервала равна $t_c = \frac{l}{V} + t_H + EIFS$. Таким образом, среднее время передачи пакета длиной l равно $t_s^* = (1 - q)t_s + qt_c$, где $t_s = \frac{l}{V} + t_H + t_{ACK} + SIFS + DIFS$, а время неудачной из-за столкновения процессов передачи равно t_c .

Для определения среднего времени задержки T и усредненной вероятности отказа p_{rej} используются формулы (17) и (19), где L вычисляется по формуле (18), а Λ_q определяется по формуле, аналогичной (18) с заменой $\bar{\ell}^n$ с различными индексами на h^n .

Эман 5. Оценка неоднородности приходящих на элементы беспроводной СПД пакетов и возможности их передачи.

Следует учитывать неоднородность приходящих на станцию пакетов и возможность их передачи с помощью механизма RTS/CTS (запрос на отправку/разрешение отправки). Длина пакета l_i может превышать порог RTS/CTS, который обозначается как L_{rts} , и распределение длин $D(l_i)$ полагаем одинаковым для всех элементов. Предполагается, что короткие кадры RTS, CTS, ACK не искажаются помехами, а пакет длиной l_i искажается с вероятностью $q_i = 1 - (1 - BER)^{H_{MAC} + l_i}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В беспроводных сетях АСУТП ГТП оказывается негативное влияние множеством факторов на передаваемые данные: это и столкновения процессов, и низкий уровень сигнала, и помехи, возникающие в процессе их приема-передачи. Эти факторы существенно влияют на пропускную способность сети и вызывают задержки при осуществлении передачи данных.

В работе была получена модель оценки производительности беспроводной сети передачи данных АСУТП ГТП в условиях воздействия помех и столкновения процессов, а также методика оценки параметров информационного обмена в этих сетях.

Предлагаемая модель позволяет рассчитывать среднее время задержки пакета на MAC-уровне, т.е. среднее время пребывания пакета в узле, включая возможное ожидание в очереди и обслуживание, и рассчитать пропускную способность сети в условиях негативного воздействия на процесс передачи внепротокольных прерываний.

Разработанная методика оценки параметров процесса информационного обмена в беспроводных сетях передачи данных АСУТП ГТП, базирующаяся на процессе рождения-гибели с дискретным целочисленным временем, учитывает суммарное число потоков, находящихся в очередях элементов беспроводной сети передачи данных, что позволяет производить оценку параметров с высокой степенью точности.

Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при проектировании, внедрении и контроле за функционированием беспроводных сегментов сетей АСУТП ГТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.Т., Кузьмина Л.В., Краснов Д.А. Рекурсивный алгоритм оценки минимальной величины канального ресурса в сети передачи данных // Информационные системы и технологии, 2012. – № 4. – С. 97-102.
2. Еременко В.Т., Анисимов Д.В., Плащенков Д.А., Краснов Д.А., Черепков С.А., Георгиевский А.Е. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП // Информационные системы и технологии, 2012. – № 6. – С. 114-119.
3. Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function // IEEE Journal on Selected areas in Comm. – March 2000. – № 18(3). – P. 535-547.
4. Bianchi G. IEEE 802.11 – Saturation throughput analysis // IEEE Communications Letters, 1998. – V. 2. – P. 318-320.

Еременко Владимир Тарасович

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: wladimir@orel.ru

Анисимов Дмитрий Владимирович

Академия ФСО, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 920 286 86 35

E-mail: dimadikiy@mail.ru

Краснов Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 9 965 299 02 13

E-mail: ekshin@mail.ru

Воробьев Сергей Анатольевич

Академия ФСО, г. Орел

Научный сотрудник

Тел.: 8 910 207 76 43

E-mail: keyms@bk.ru

V.T. ERYOMENKO (*Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department «Electronics, Computer Facilities and Information Security»*)
State University – ESPC, Orel

D.V. ANISIMOV (*Research Associate*)
Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

D.A. KRASNOV (*Post-graduate Student of the Department «Electronics, Computer Facilities and Information Security»*)
State University – ESPC, Orel

S.A. VOROBYOV (*Research Associate*)
Academy of Federal Agency of protection of the Russian Federation, Orel

APPROACH TO THE EVALUATION OF INFORMATION SERVICES WIRELESS DATA NETWORK APCS GAS TRANSPORTATION COMPANY UNDER THE EFFECT OF INTERFERENCE AND COLLISION PROCESSES

The article proposes an approach to assessing the performance of wireless data transmission network control system of APCS gas transportation company under the impact of interference with the asynchronous and synchronous mode of message delivery.

Keywords: *model; wireless data network; bandwidth; collision processes.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Eryomenko V.T., Kuz'mina L.V., Krasnov D.A. Rekursivny'j algoritm ocenki minimal'noj velichiny' kanal'nogo resursa v seti peredachi danny'x // *Informacionny'e sistemy' i texnologii*, 2012. – № 4. – S. 97-102.
2. Eryomenko V.T., Anisimov D.V., Plashhenkov D.A., Krasnov D.A., Cherepkov S.A., Georgievskij A.E. Reshenie zadach upravleniya setevy'mi resursami v usloviyax dinamicheskogo izmeneniya konfiguracii besprovodnoj seti ASUP // *Informacionny'e sistemy' i texnologii*, 2012. – № 6. – S. 114-119.
3. Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function // *IEEE Journal on Selected areas in Comm.* – March 2000. – № 18(3). – P. 535-547.
4. Bianchi G. IEEE 802.11 – Saturation throughput analysis // *IEEE Communications Letters*, 1998. – V. 2. – P. 318-320.

УДК 004.724.4

В.А. ЛОБАНОВА, О.М. БОРИСОВ, М.А. ФОКИН

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ
В ВИРТУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ СЕТЯХ (ВЧС)
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

В статье предлагается алгоритм аппроксимации, базирующийся на решении упрощения задачи целочисленного линейного программирования и дальнейшего округления дробного решения до целочисленного.

Ключевые слова: виртуальные частные сети; алгоритм аппроксимации; дерево Штейнера; задача целочисленного программирования.

ВВЕДЕНИЕ

Задача определения необходимых сетевых ресурсов для построения ВЧС с учетом минимизации занимаемой полосы пропускания или её стоимости исследуется с конца XX – начала XXI века. В ряде работ зарубежных авторов (Duffield N.G. и Kumar A.) предложена идея потоковой модели. В них проанализированы алгоритмы реализации потоковой модели ВЧС: на основе каналов провайдера, на основе отдельных потоков и на основе всех потоков ВЧС. Также приведены аргументы в пользу того, что потоковая модель ВЧС с оптимальной полосой пропускания должна базироваться на древовидной топологии, описан алгоритм для определения древовидной топологии с оптимальной полосой пропускания в случае, когда требования к полосе пропускания в каждой конечной точке симметричны (максимальное количество входящего трафика равно максимальному количеству исходящего трафика для каждой точки ВЧС) и звенья сети имеют бесконечную пропускную способность. Он имеет сложность $O(mn)$. Также доказано, что если в каждой конечной точке ВЧС требования к полосе пропускания являются ассиметричными, то определить древовидную топологию ВЧС с оптимальной полосой пропускания NP-сложно. Решение задачи предложено путем формулирования ее как задачи целочисленного линейного программирования. Алгоритм аппроксимации получен с помощью решения упрощенной задачи линейного программирования и округления дробного решения до целочисленного с коэффициентом аппроксимации 10. Рассмотрен случай асимметричного дерева с бесконечными емкостями ребер. Доказано, что задача определения древовидной топологии ВЧС с оптимальной полосой пропускания является NP-сложной, описан метод, определяющий требуемую полосу пропускания для построения ВЧС, основанный на упрощенном линейном программировании с коэффициентом аппроксимации 9,002. В работах Eisenbrand F. приведены алгоритмы, имеющие меньшие коэффициенты аппроксимации: 5 и 4,74. Показано, что использование комбинации нового алгоритма аппроксимации с простой схемой маршрутирования позволяет уменьшить коэффициент аппроксимации до 3,55.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Будем использовать следующие обозначения:

$G = (V, E)$ – граф с V вершинами и E двунаправленными ребрами;

n – число вершин в графе G ($|V|$);

m – число ребер в графе G ($|E|$);

L_{ij} – емкость ребра (i, j) (в единицах полосы пропускания) в направлении от вершины i к вершине j ;

i, j, l, u, v, w – универсальные символы для обозначения вершин в графе G ;

P – совокупность конечных точек ВЧС;

- T – универсальное обозначение для дерева ВЧС;
 T_v – дерево ВЧС, созданное на основе корневой вершины v ;
 B_i^{in} – трафик на входе в конечную точку i ;
 B_i^{out} – трафик на выходе из конечной точки i ;
 $T_i^{(i,j)}$ – компонента дерева T , содержащая вершину i , когда ребро (i,j) удалено из T ;
 $P_i^{(i,j)}$ – совокупность конечных точек ВЧС, входящих в компоненту $T_i^{(i,j)}$;
 $C_T(i,j)$ – полоса пропускания, резервируемая на ребре (i,j) дерева T для реализации ВЧС;
 $d_G(i,j)$ – длина кратчайшего пути (количество ребер) между вершинами i и j в графе G ;
 $B_j = B_j^{in} + B_j^{out}$ – трафик, проходящий через конечную точку j ;
 $x_{i,j}, y_i$ и z_e – двоичные переменные, которые принимают значения 0 или 1, причем
 $y_i = 1$, если вершина i входит в совокупность S ;
 $x_{i,j} = 1$, если конечная точка j ВЧС инцидентна вершине i ;
 $z_e = 1$, если ребро e принадлежит дереву Штейнера, соединяющего вершины в совокупности S ;
 M – сумма резервируемых полос пропускания на равновесном ребре (i,j) дерева T в обоих направлениях;
 $\delta(V)$ – совокупность ребер, соединяющих группы вершин \hat{V} и $(V - \hat{V})$ в графе G .

Рассмотрим потоковую математическую модель с асимметричным трафиком конечных точек ВЧС на основании линейного программирования. В описанной модели для конечной точки v значения трафика на входе B_v^{in} и выходе B_v^{out} различны, так как она имеет асимметричный трафик конечных точек ВЧС. Очевидно, что это является причиной усложнения расчета топологии ВЧС, так как в разных направлениях резервируемая полоса пропускания на ребре (i,j) может быть неодинаковой, т.е. для дерева T , соединяющего конечные точки ВЧС, $C_T(i,j)$ может быть не равно $C_T(j,i)$. Это объясняется тем, что

$$\begin{aligned} C_T(i,j) &= \min \left\{ \sum_{v \in P_i^{(i,j)}} B_v^{out}, \sum_{v \in P_j^{(i,j)}} B_v^{in} \right\}; \\ C_T(j,i) &= \min \left\{ \sum_{v \in P_i^{(i,j)}} B_v^{in}, \sum_{v \in P_j^{(i,j)}} B_v^{out} \right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Пусть дерево для реализации ВЧС (рис. 1) соединяет конечные точки ВЧС $P = \{0, 1, \dots, 8\}$. Трафик конечных точек ВЧС определен следующим образом: для конечной точки 0 $B_{in} = 4$, $B_{out} = 6$, для конечных точек 1, 2, 3 и 4 $B_{in} = 2$, $B_{out} = 4$, а для конечных точек 5, 6, 7 и 8 $B_{in} = 2$, $B_{out} = 3$. Распределение резервируемых полос пропускания в обоих направлениях для ребер дерева в виде стрелок с соответствующими числами показано на рисунке 2. Например, для ребра (9,11) $C_T(9,11) = 8$ (так как $\sum_{v \in P_9^{(9,11)}} B_v^{out} = 8$ меньше, чем $\sum_{v \in P_{11}^{(9,11)}} B_v^{in} = 16$), а $C_T(11,9) = 4$ (так как $\sum_{v \in P_{11}^{(9,11)}} B_v^{out} = 16$ больше, чем 4).

Для случая асимметричного трафика задача определения древовидной топологии ВЧС с минимальной резервируемой полосой пропускания по сложности не сложнее расчета дерева Штейнера, но так как известно, что сложность расчета дерева Штейнера NP-сложная [2], то и проблема расчета оптимального дерева при асимметричной нагрузке также NP-сложная. Данная задача решается только аппроксимационными методами.

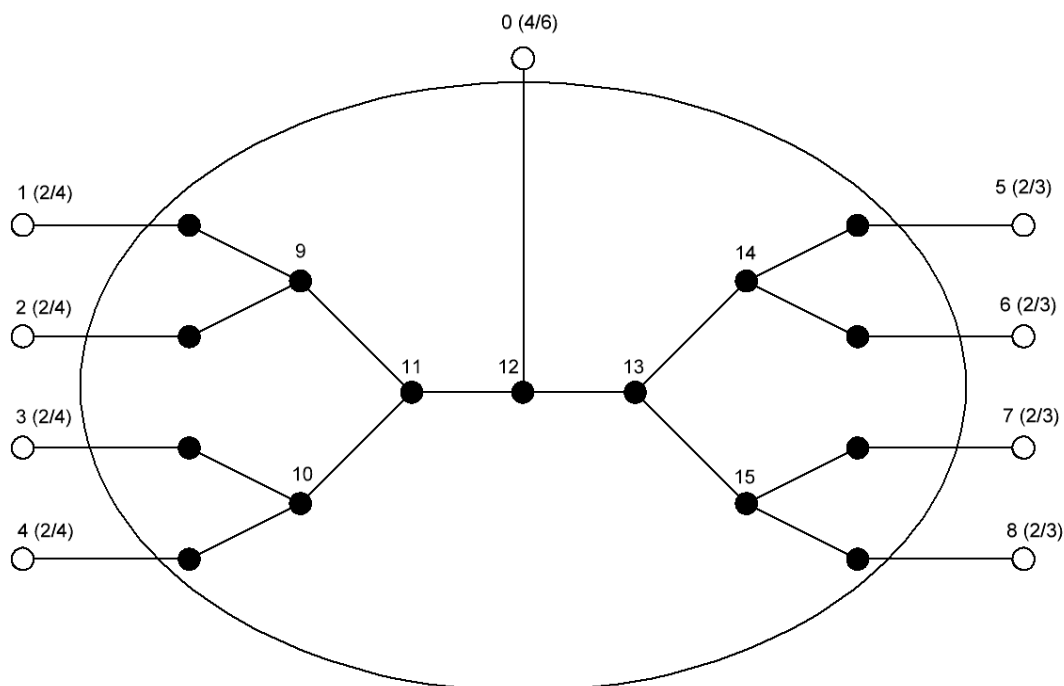


Рисунок 1 – Пример дерева для реализации ВЧС

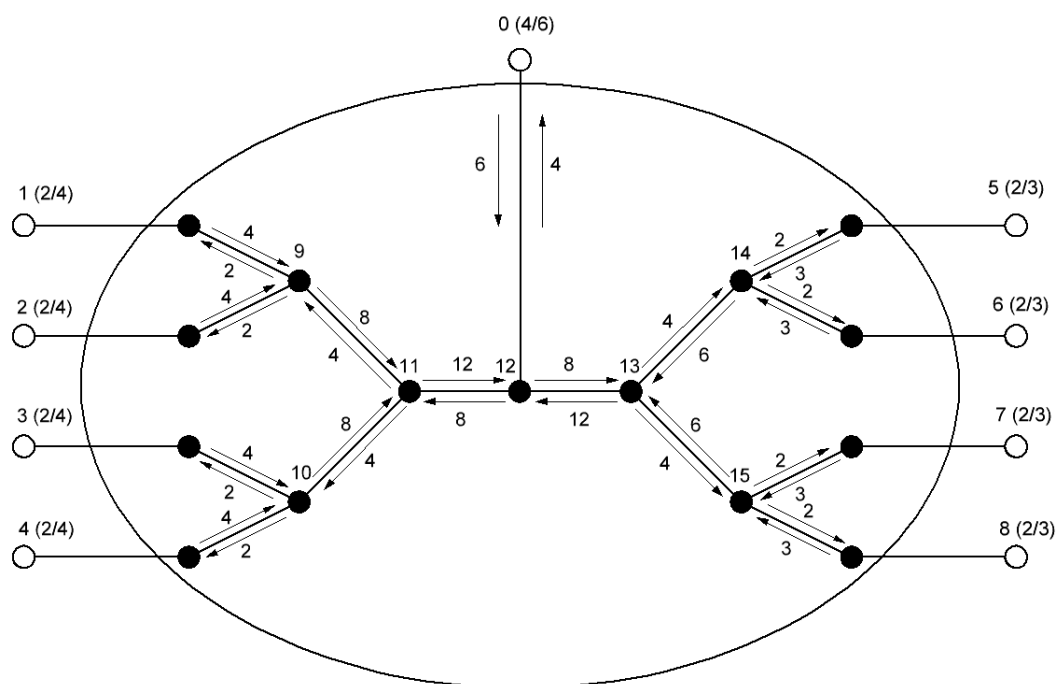


Рисунок 2 – Пример дерева с асимметричным трафиком конечных точек ВЧС

АППРОКСИМАЦИЯ ПОТОКОВОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С АСИММЕТРИЧНЫМ ТРАФИКОМ КОНЕЧНЫХ ТОЧЕК ВЧС НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Для модели потоковой математической модели с асимметричным трафиком конечных точек ВЧС задача целочисленного программирования (ЦП) отличается от задачи линейного программирования (ЛП) дополнительным требованием целочисленности переменных. В отличие от задачи ЛП задача ЦП является NP-сложной. Для приближенного решения задачи ЦП могут быть применены различные методы, например, отсечений, границ и ветвей, алгоритмы динамического программирования, аппроксимационные алгоритмы.

Например, Kumar A. для решения задачи ЦП предлагает алгоритм аппроксимации, базирующийся на решении линейного упрощения задачи ЦП и дальнейшего округления дробного решения до целочисленного. По сравнению с целочисленным дробное решение увеличивает необходимую полосу пропускания на небольшую величину. Алгоритм округления состоит из двух фаз:

- используется методика отсеивания и округления, описанная в работах Хачиян Л.Г., в результате чего получается новое приближенное нецелочисленное решение, имеющее следующее свойство: для любой конечной точки ВЧС j , приближенно совпадающей с вершиной i , длина пути $d_G(i, j)$ есть величина небольшая;

- полученное дробное решение округляется для получения практически оптимального целочисленного решения.

Упрощение задачи ЦП приводит к следующей постановке задачи ЛП: минимизировать величину

$$\sum_{i \in V, j \in P} d_G(i, j) B_j x_{i,j} + M \sum_{e \in E} z_e \quad (2)$$

с учетом следующих ограничений:

$$\begin{aligned} \forall j \in P: \sum_{i \in V} x_{i,j} &\geq 1, \\ \forall i \in V, \forall j \in P: y_i - x_{i,j} &\geq 0, \\ \forall \hat{V} \subset V, v \notin \hat{V}, j \in P: \sum_{e \in \delta(\hat{V})} z_e - \sum_{i \in \hat{V}} x_{i,j} &\geq 0, \\ x_{i,j}, y_i, z_e &\geq 0. \end{aligned}$$

Использование метода эллипсоидов позволяет решить данную задачу за полиномиальное время. Пусть x, y, z – оптимальное дробное решение для данной задачи ЛП. Для получения целочисленного решения оптимальное дробное решение округляется следующим образом.

Сначала используем методику отсеивания и округления для получения нового дробного решения. Пусть $0 < c < 1$ – некоторая константа. Для каждой конечной точки j ВЧС определим некоторую величину α_j следующим образом. Будем считать, что π есть такая перестановка вершин, при которой длины кратчайших путей между каждой вершиной и вершиной j соотносятся следующим образом:

$$d_G(\pi(1), j) \leq d_G(\pi(2), j) \leq \dots \leq d_G(\pi(n), j).$$

Допустим, что $i^* = \min\{i' : \sum_{i=1}^{i'} x_{\pi(i), j} \geq c\}$ и $\alpha_j = d_G(\pi(i^*), j)$. Тогда для решения задачи аппроксимации можно записать следующее выражение:

$$(1 - c)\alpha_j \leq \sum_{i \geq i^*} x_{\pi(i), j} d_G(\pi(i), j) \leq \sum_{i \in V} d_G(\pi(i), j) x_{i,j}. \quad (3)$$

Новое подходящее дробное решение $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ для задачи ЛП выглядит следующим образом: для каждой конечной точки j определяем величину

$$c_j = \sum_{i: d_G(i, j) \leq \alpha_j} x_{i,j}. \quad (4)$$

Отметим, что $c_j \geq c$. Для каждой пары вершин (i, j) определим величины $\bar{x}_{i,j} = x_{i,j} / c_j$, если $d_G(\pi(i), j) \leq \alpha_j$, и 0 в противном случае. Для каждой вершины i определим величину $\bar{y}_i = \min\{1, y_i / c\}$, а для каждого ребра e — величину $\bar{z}_e = \min\{1, z_e / c\}$.

Теперь необходимо округлить это дробное решение для получения практически оптимального решения, при котором каждая конечная точка j ВЧС соответствует некоторой вершине i такой, что $\bar{x}_{i,j} > 0$. Обозначим через $F_i = \{i' : \bar{x}_{i', j} > 0\}$ совокупность подходящих вершин для конечной точки j .

На рисунке 3 показан алгоритм определения оптимального дерева методом округления. Он отображает расчет подходящего целочисленного решения $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$, определяемого дробным решением $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ с соответствующей константой.

Алгоритм начинается с образования групп конечных точек ВЧС. Каждая группа имеет конечную точку j ВЧС, являющейся начальной точкой группы. Совокупность таких

начальных точек групп хранится в начальной совокупности, и совокупность S_j — это группа, в которой конечная точка j используется в качестве начальной. Каждая конечная точка $l \in S_j$ обладает следующими свойствами:

$$\alpha_j \leq \alpha_l;$$

для некоторой вершины $i \in F_i$ $d_G(i, j) \leq c' \alpha_j$ или для некоторой вершины $i \in F_j$ $d_G(i, l) \leq c' \alpha_l$, где $c' > 1$ — некоторая константа.

В работе Kumar A. доказана лемма, которая утверждает, что если сопоставить каждую конечную точку в совокупности S_j некоторой вершине в совокупности F , то общая требуемая полоса пропускания дерева в результате замены увеличится ненамного. Таким образом, для каждой пары вершин $(i, j), l \in S_j, i \in F_j$, справедливо неравенство

$$d_G(i, j) \leq (c' + 2) \alpha_i. \quad (5)$$

Для обеспечения выполнения решения отдельно для каждой конечной точки из совокупности S_j , соответствующей некоторой вершине в совокупности F_j , необходимо построить дерево Штейнера T (наикратчайшее дерево, стягивающее множество из заданных точек), связывающее вершину v как минимум с одной вершиной из совокупности F_j для каждой вершины j в наборе начальных точек. Для этого в графе G для каждой конечной точки j в наборе начальных точек подключаем вершины в каждой совокупности F_j к новой супервершине. После этого соединяем супервершины с помощью дерева Штейнера, таким образом каждая супервершина соединяется с вершиной v . Отметим, что, несмотря на то, что дерево T соединяет супервершины и вершину v в графе G' , может произойти ситуация, когда T не сформирует отдельно связанный подграф в G . Это происходит из-за того, что ребра в дереве T могут быть отнесены к различным вершинам из F_j . Поэтому, для гарантии того, что T образует связанный подграф в G , выбирается вершина $u \in F_j$, и она соединяется с каждой другой вершиной из F_j , которой соответствует ребро из T .

В работе Kumar A. доказано, что число ветвей в дереве T_v должно быть меньше или равно

$$\frac{2(c' + 1)}{c' - 1} \sum_{e \in E} \bar{z}_e, \quad (6)$$

т.е. пропорционально некоторой константе $\sum_{e \in E} \bar{z}_e$.

Теперь определим приближенное оптимальное целочисленное решение $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$, полученное путем округления дробного решения. Пусть $\hat{y}_v = 1$ для каждой вершины j в начальной совокупности, а для вершины $u \in F_j$, имеющей исходящие ребра в дереве T_{dir} , $\hat{y}_v = 1$, иначе $\hat{y}_v = 0$. Пусть каждая конечная точка $l, l \in S_j$, соответствует вершине $u \in F_j$ с входящим ребром, т.е. $\hat{x}_{u,l} = 1$. Будем считать, что для каждого ребра e , входящего в дерево T , $\hat{z}_e = 1$ и $\hat{z}_e = 0$ для других ребер. В результате, полученное целочисленное решение будет абсолютно точным, учитывая, что дерево T_v соединяет каждую вершину $u \in F_j$ (которая имеет входящие ребра в дереве T_{dir}) с вершиной v . Резервируемая полоса пропускания при целочисленном решении $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ определяется выражением

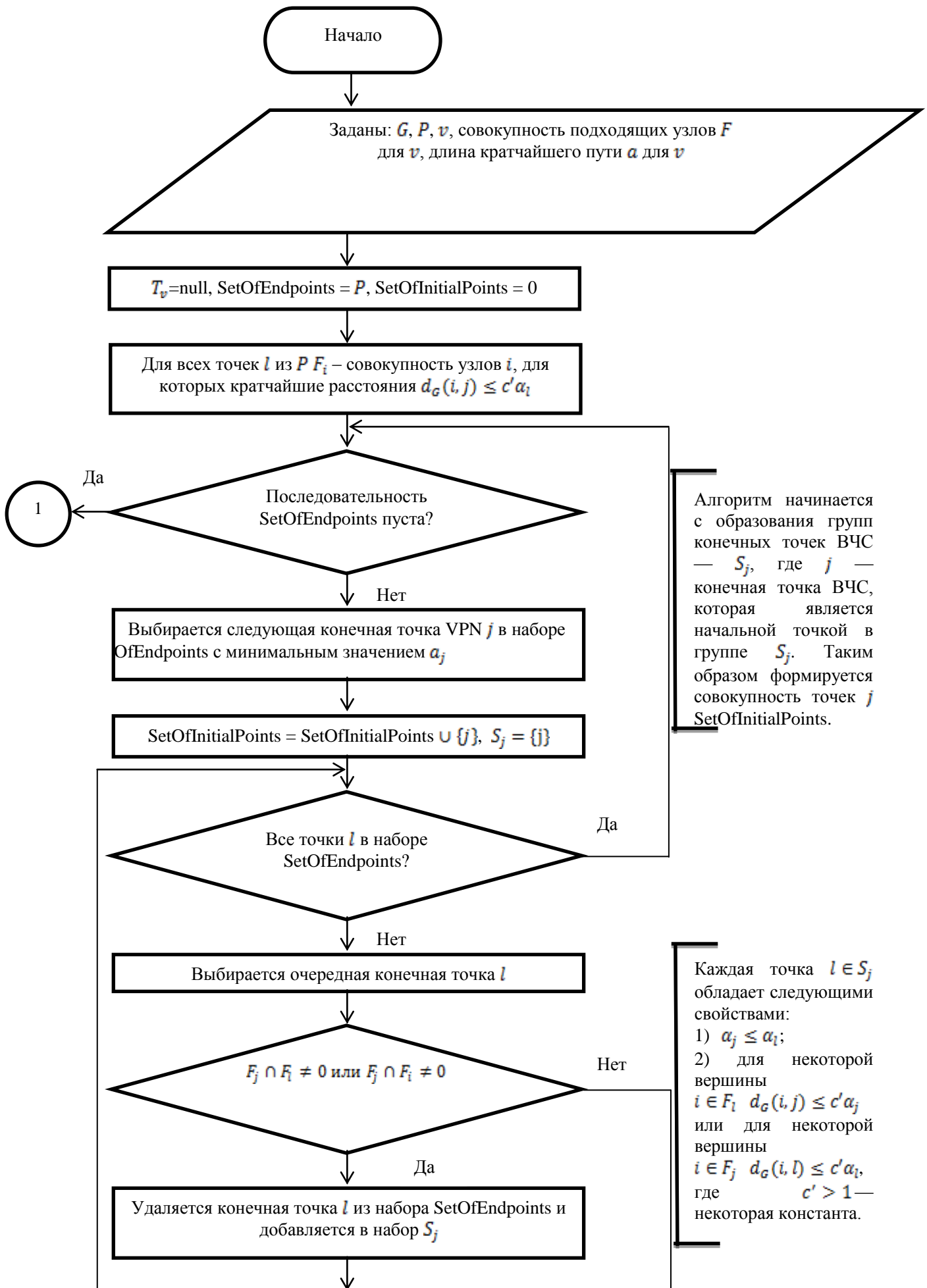
$$\sum_{i \in V, j \in P} d_G(i, j) B_j \hat{x}_{i,j} + M \sum_{e \in E} \hat{z}_e. \quad (7)$$

Из (6) следует, что $\sum_{i \in V, j \in P} d_G(i, j) B_j \hat{x}_{i,j} \leq (c' + 2) \sum_{j \in P} B_j \alpha_j$.

Также из (7) следует, что $M \sum_{e \in E} \hat{z}_e \leq \frac{2(c'+1)}{c'-1} \sum_{e \in E} \bar{z}_e$.

Объединяя это с уравнением (3) и учитывая, что $\bar{z}_e \leq z_e/c$, получим, что резервируемая полоса пропускания при решении $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ самое большее равна

$$\frac{c' + 1}{1 - c} \sum_{i \in V, j \in P} d_G(i, j) B_j x_{i,j} + M \frac{2(c' + 1)}{c' - 1} \sum_{e \in E} z_e. \quad (8)$$



Алгоритм начинается с образования групп конечных точек ВЧС — S_j , где j — конечная точка ВЧС, которая является начальной точкой в группе S_j . Таким образом формируется совокупность точек j $\text{SetOfInitialPoints}$.

Каждая точка $l \in S_j$ обладает следующими свойствами:
 1) $a_j \leq a_l$;
 2) для некоторой вершины $i \in F_l$ $d_G(i, j) \leq c' a_j$ или для некоторой вершины $i \in F_j$ $d_G(i, l) \leq c' a_l$, где $c' > 1$ — некоторая константа.

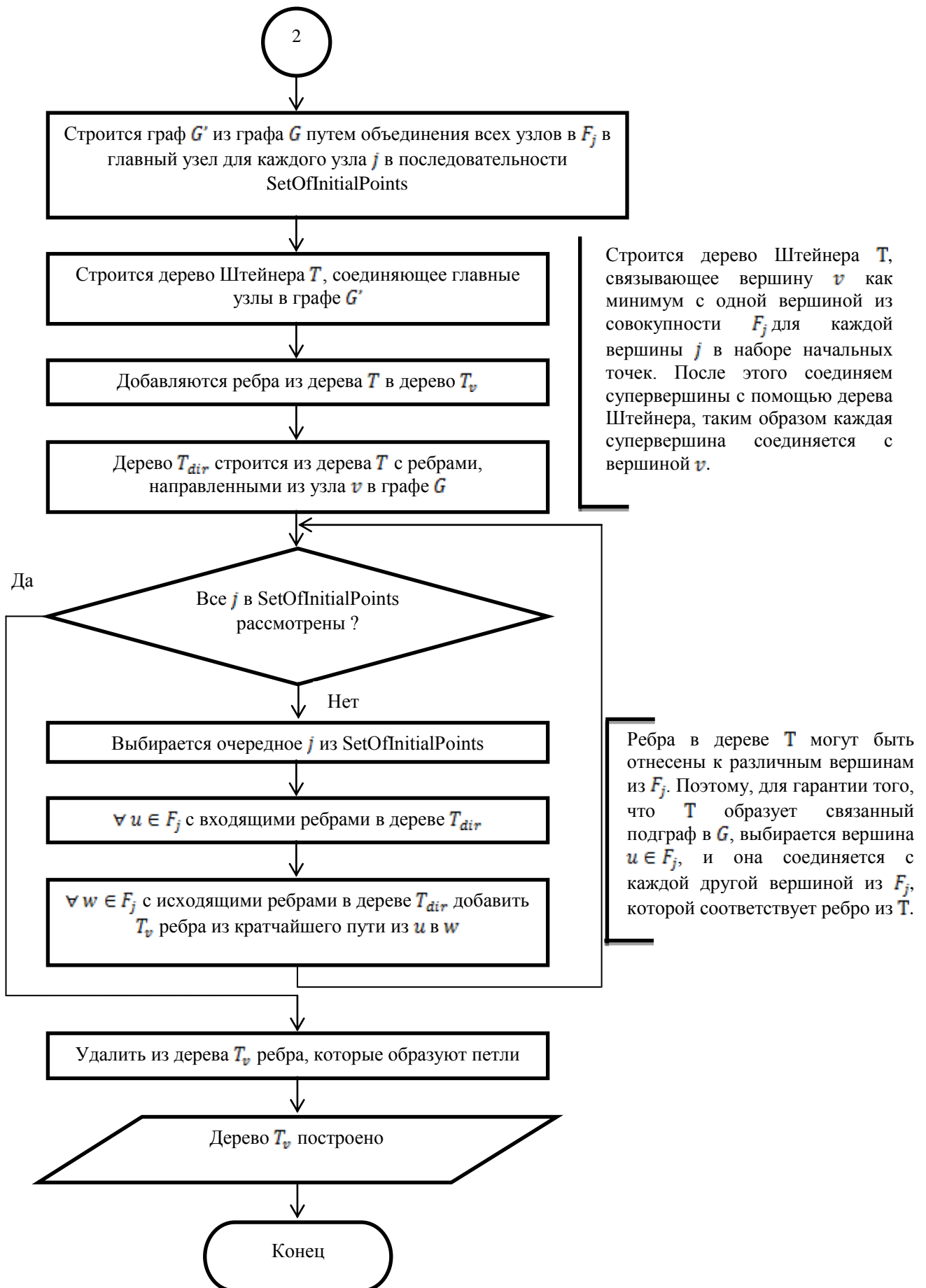


Рисунок 3 – Алгоритм построения потоковой математической модели с асимметричным трафиком конечных точек ВЧС методом округления

Таким образом, $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ является оптимальным дробным решением задачи ЛП с точностью до некоторой константы. Эта константа выбирается из интервала $\left\{ \frac{c'+2}{1-c}, \frac{2(c'+1)}{c(c'-1)} \right\}$.

Например, при $c = 1/3$ и $c' = 2$ получим значение 7 для константы пересчета дробного решения в целочисленное.

В результате анализа можно определить временную сложность процедуры расчета дерева на основе округления дробного решения. Она равна $O(n^2(\log n + p))$, где $p = |P|$ и $n = |V|$. Слагаемое $n^2 \log n$ соответствует временной сложности построения дерева Штейнера, а слагаемое $n^2 p$ учитывает затраты времени на дополнительные расчеты наименьших путей для большинства пар узлов $p(u, v)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, найдено приближенное решение задачи целочисленного программирования путём использования алгоритма аппроксимации, позволяющего решить проблему расчета оптимальной полосы пропускания при асимметричной нагрузке за полиномиальное количество времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков А.В. Виртуальные частные сети. Основы построения и применения. – М.: Эко-Трендз, 2006. – 304 с.: ил.
2. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. 2-е издание. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с.
3. Lin J.-H., Vitter J.S. E-approximations with minimum packing constraint violation // Proceedings of the twenty-fourth annual ACM symposium on Theory of computing, 1992. – P. 771-782.
4. Еременко В.Т. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами // Радиотехника и электроника, 2010. – № 1. – Том 55. – С. 1-10.
5. Еременко В.Т. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6. – С. 35-42.

Лобанова Валентина Андреевна

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: lvanata@yandex.ru

Борисов Олег Михайлович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: atomoleg@mail.ru

Фокин Михаил Александрович

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»

Тел.: 8 (4862) 45-57-57

E-mail: lvanata@yandex.ru

V.A. LOBANOVA (*Candidate of Engineering Sciences, Professor of the Department «Electronics, Computer Sciences and Information Security»*)

O.M. BORISOV (*Post-graduate Student of the Department «Electronics, Computer Sciences and Information Security»*)

M.A. FOKIN (*Post-graduate Student of the Department «Electronics, Computer Sciences and Information Security»*)
State University – ESPC, Orel

A MATHEMATICAL MODEL FOR DISTRIBUTED INFORMATION FLOWS IN VIRTUAL PRIVATE NETWORK (VPN) TO INDUSTRIAL ENTERPRISES

The article suggests approximation algorithm, based on the solution of the simplified problem of integer linear programming and further rounding fractional solutions to an integer.

Keywords: *virtual private networks; approximation algorithm; Steiner tree; integer linear programming problem.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Roslyakov A.V. Virtual'ny'e chastny'e seti. Osnovy' postroeniya i primeneniya. – M.: E'ko-Trendz, 2006. – 304 s.: il.
2. Kormen T.X., Lejzerson Ch.I., Rivest R.L., Shtajn K. Algoritmy': postroenie i analiz. 2-e izdanie. – M.: Vil'yams, 2005. – 1296 s.
3. Lin J.-H., Vitter J.S. E-approximations with minimum packing constraint violation // Proceedings of the twenty-fourth annual ACM symposium on Theory of computing, 1992. – P. 771-782.
4. Eryomenko V.T. Identifikaciya modelej diskretny'x linejny'x sistem s peremenny'mi, medlenno izmenyayushhimisya parametrami // Radiotexnika i e'lektronika, 2010. – № 1. – Tom 55. – S. 1-10.
5. Eryomenko V.T. Modelirovanie informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x integrirovanny'x ASU / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, T.M. Paramoxina, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov // Informacionny'e sistemy' i texnologii, 2011. – № 6. – S. 35-42.

УДК 004.057.4

Р.Н. ШУЛЬГИН

СПОСОБЫ И ПРИЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В КОМПОНЕНТАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается методика выявления нарушений в информационной среде газотранспортного предприятия, базирующаяся на обработке сетевого трафика и анализе информации из полей сетевых пакетов, отличающаяся процедурными правилами формирования профиля нарушений.

Ключевые слова: нарушения; сетевой трафик; процесс информационного обмена; газотранспортное предприятие.

ВВЕДЕНИЕ

Современное газотранспортное предприятие – объект со сложной инфраструктурой как в части функционального назначения структурных подразделений, так и в части их географической распределенности. Эти факторы оказывают существенное влияние на экономическую эффективность производственной деятельности, повышение которой – приоритетная задача любого крупного предприятия. Газотранспортные предприятия отличает четкое разделение функций административного аппарата и функций структурных подразделений (филиалов). Административный аппарат осуществляет управление финансово-хозяйственной деятельностью предприятия и координацию работы его филиалов, распределенных на значительной территории. На филиалы возложены функции исполнения производственных планов и экономических показателей. Каждый филиал имеет, в свою очередь, и административную, и цеховую структуру. Зачастую количество уровней управления, разделяющих администрацию предприятия и производственные подразделения, различается для определенных географических зон. Речь идет о региональных управлениях, объединяющих подразделения одного функционального назначения в пределах региона. Причина возникновения множества уровней управления состоит все в той же географической распределенности, затрудняющей коммуникации, и, как следствие, оперативное управление подразделениями [1].

Основными видами деятельности газотранспортного предприятия являются: обеспечение надежной поставки (транспортировки) газа до конечных потребителей или до границ балансовой принадлежности с другим газотранспортным предприятием; предотвращение аварий и аварийных ситуаций на газопроводах; обеспечение технического и финансового учета поставляемого газа, уменьшение технических потерь газа и борьба с коммерческими потерями (с воровством газа путём несанкционированных врезок); защита газопроводов от коррозии и осуществление мониторинга коррозионного состояния газопроводов; осуществление диагностики, ремонта и реконструкции линейной части газопроводов, конструктивных элементов, обвязки и оборудования компрессорных станций.

В настоящее время в рамках Отраслевой системы оперативно-диспетчерского управления (ОСОДУ) Единой системы газоснабжения (ЕСГ) России заканчивается внедрение унифицированной интегрированной АСУ ("ГОФО-2") газотранспортным предприятиям с отработкой технических решений на основе современных информационных технологий и программно-технических средств. Интеграция осуществляется по следующим направлениям: по этапам технологических цепей управления, программно-технических средств и организационно-экономических подсистем. Она обеспечит комплексное использование на газотранспортном предприятии локальных автоматизированных и информационных систем, баз данных (БД), разнотипных средств автоматизации

компрессорных станций (КС) и систем передачи данных, локальных вычислительных сетей (ЛВС), персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) для повышения эффективности системы управления в целом. ИАСУ – важный фактор ускорения оперативности, экономичности и надежности управления, прежде всего, основным технологическим процессом дальнего транспорта газа в целях бесперебойного снабжения потребителей [2].

Диагностика состояний и защита сетевых ресурсов в компонентах вычислительной сети газотранспортного предприятия требует оперативного выявления состояний компонентов, приводящих к потере ее работоспособности, являющихся следствием отказов оборудования, сбоев программного обеспечения и приложений случайного характера или результатом попыток получения несанкционированного доступа к сетевым ресурсам, проникновения вирусов. Обнаружение таких состояний позволяет своевременно устранить их причину, а также предотвратить возможные последствия.

Проблемам информационного обмена в интегрированной информационной среде промышленных предприятий посвящен целый ряд работ [3-12]. Однако за рамками их рассмотрения остаются вопросы критериев оценки нарушений функционирования и своевременности их обнаружения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обнаружение нарушений функционирования вычислительной сети должно осуществляться лицом, принимающим решения (ЛПР), на основе анализа степени близости текущих значений характеристик состояния компонентов вычислительной сети по отношению к профилю эталонного поведения (ПЭП) в соответствующем пространстве метрик.

Входными данными для построения ПЭП являются структурированные данные о сетевом трафике, накопленные на этапе обучения. Обучение связано с накоплением информации о функционировании компонентов ВС и ее преобразованием в ПЭП.

От адекватности и корректности описания ПЭП компонентов ВС (КВС) зависит эффективность методики выявления нарушений функционирования вычислительной сети в целом. Одной из основных проблем построения ПЭП является получение данных для обучения, не содержащих следов нарушений. На этапе исследований шаблонные данные профиля можно получить при помощи эксперта, который тщательно проанализирует трафик и отсеет все нарушения. Точность при этом будет сильно зависеть от квалификации эксперта. Но реально применить такой подход сложно, т.к. в любой, даже небольшой, сети трафик будет огромен и проанализировать его визуально человеку не под силу. В настоящее время не найдено методов автоматического разделения данных и нарушений.

Другой важной проблемой является потребность корректировки ПЭП. Корректировка необходима для учета объективных изменений в конфигурации программного или аппаратного наполнения КВС и окружающих его устройств. Так, настройка всего одного дополнительного сетевого сервиса у устройства может существенно изменить его ПЭП.

Вторая проблема явно указывает на то, что ПЭП, в принципе, не может быть статическим (как пока еще предполагают многие исследователи). Он должен динамически меняться.

Третьей особенностью, которую надо учитывать при построении ПЭП, является наличие периодичности в сетевой активности отдельных КВС и сети в целом. Периодичность обусловлена естественной рабочей активностью людей.

МЕТОДИКА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

О НАРУШЕНИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

При возникновении нарушений функционирования ВС характерно наличие признаков в разные моменты времени (от нескольких секунд до нескольких минут и даже часов), которые сами по себе не могут служить указанием на нарушение, но при объединении с

аналогичными вызывают ее проявление. Поэтому особенностью обнаружения нарушений функционирования ВС является необходимость совместного анализа данных, полученных на разных временных интервалах.

Рассмотрим два определения.

Окно анализа – интервал времени от текущего момента до некоторого момента в прошлом, на котором оцениваются значения характеристик компонентов ВС с целью определения степени отклонения от эталона его поведения. Длительность временного окна анализа принята равной 1 суткам. Это значение носит рекомендательный характер и обусловлено результатом практического опыта по обнаружению нарушений ВС в сетевом трафике. В программном комплексе, реализующем предлагаемую методику, данное значение является инициализационным параметром и может быть изменено администратором при необходимости.

Шаг анализа – интервал времени, на который происходит смещение окна анализа. Примем, что длительность шага анализа равна длине шага структуризации трафика и составляет 5 минут.

Методика выявления нарушений ВС может быть представлена в виде циклического процесса, реализуемого автоматизированной системой и действиями администратора по работе с ней.

Общий подход к построению методики показан на рисунке 1.

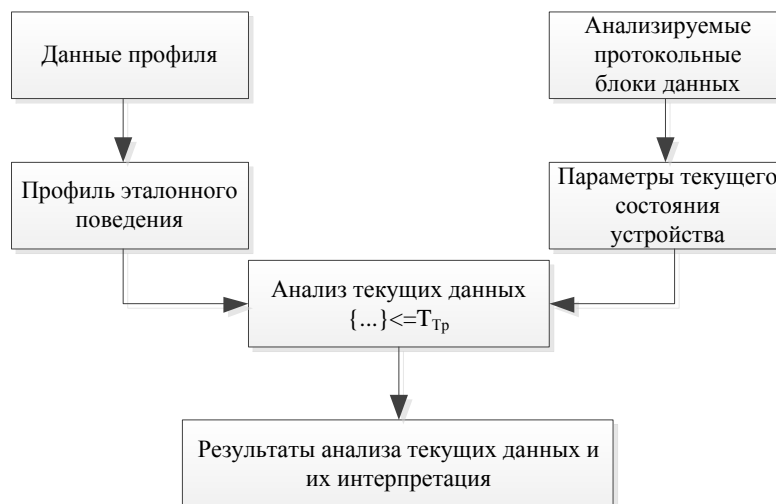


Рисунок 1 – Общий подход к способам и приемам выявления нарушений

Методика включает в себя следующие шаги:

1. В инфраструктуру компьютерной сети внедряется система, реализующая данную методику, которая в течение месяца работает в режиме накопления структурированных данных о сетевом трафике.
2. Через определенный временной интервал запускается процесс обучения. В ходе его работы для интересующих компонентов ВС строятся ПЭП.
3. После того, как ПЭП построены, запускается множество параллельных процессов анализа для конкретных компонентов.
4. В течение шага процесса анализа происходит захват трафика, его структуризация, сохранение в базе данных и извлечение характеристик интересующего компонента.
5. Полученный на текущем шаге вектор характеристик стыкуется с векторами, полученными на предыдущих шагах и входящими во временное окно анализа.
6. На данных, входящих в окно анализа, запускается процесс выявления нарушения.
7. Информация о выявленной степени отклонения от эталона в текущих данных заносится в базу данных.
8. В зависимости от результатов анализа происходит корректировка ПД (на данные,

имеющие допустимый уровень отклонения от эталона, ставится метка о включении в ПД, а с данных, имеющих недопустимый уровень отклонения от эталона, аналогичная метка снимается).

9. Окно процесса анализа сдвигается на шаг анализа. При этом из рассмотрения удаляются данные самого старого шага анализа и добавляются данные за последний шаг.

10. В случае перехода начала окна анализа через середину следующего часа происходит актуализация текущих эталонных параметров (из ПЭП компонентов выбираются профильные значения следующего часа).

11. Далее процесс повторяется (переход на пункт 4).

12. По запросу администратора предоставляется информация о тенденциях изменения степени отклонения от эталона компонентов ВС.

Основные шаги методики показаны на рисунке 2.

Работа администратора по работе с системой заключается в управлении описанным выше процессом. Наиболее важными задачами, которые должен решать администратор в процессе использования системы, являются:

- анализ результатов работы системы по выявлению степени отклонения от эталона компонента ВС;
- контроль за модификацией ПЭП.



Рисунок 2 – Временные параметры обучения интеллектуальной информационной системы

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ

Анализ результатов работы системы заключается в визуальной оценке предоставляемых данных о степени отклонения от эталона компонента. Эти данные могут быть представлены в виде таблиц и графиков.

В таблицах и графиках отображаются результаты анализа в метриках СПР. Поскольку метрики СПР не могут однозначно указывать на причину увеличения степени отклонения от эталона, администратор должен самостоятельно проводить анализ каждой такой ситуации. Для этого он должен обращаться к истории сетевых взаимодействий компонентов, демонстрирующей признаки наличия нарушений функционирования на определенном временном диапазоне. Анализ истории взаимодействий должен однозначно указать на причину повышения степени отклонения от эталона.

Если анализ истории подтвердит наличие нарушений, администратор должен будет принять меры по ее устранению. Принимаемые меры в каждом конкретном случае могут быть разными, т.к. зависят от типа нарушений и существующей сетевой конфигурации.

Рекомендации по устранению нарушений функционирования могут заключаться в:

- изменении правил настройки межсетевого экрана (например, запрет прохождения трафика на определенный TCP порт, по которому размножается новый сетевой червь, для которого разработчики антивирусов еще не выпустили сигнатур);
- обновлении уязвимого ПО (например, в случае идентификации наличия сетевого трояна на сервере, установленного благодаря уязвимости установленного сетевого ПО);

– обновлении антивирусных баз (в том случае, если не настроено автоматическое обновление антивирусных баз или период их обновления слишком большой и появившийся вирус уже ведет интенсивное размножение, что фиксируется в виде нарушений);

– проверке компонентов ВС на наличие программ класса spyware и adware и их удалении;

– изменении настроек сетевых сервисов (например, настройка запрета на почтовом сервере ошибочно разрешенной пересылки почты многим серверам и т.п.);

– временной остановке сетевой службы (например, если происходит распространение нового вируса и против него еще не существует сигнатур обнаружения или при взломе службы и интерактивном взаимодействии с ней злоумышленника).

Контроль за модификацией ПЭП заключается в самостоятельном принятии решения о включении данных в ПЭП. Эта функция должна быть реализована в системе. Ее работа заключается в предоставлении администратору списка событий из временного диапазона, ограниченного профильным окном. Каждое событие выводится с параметром, указывающим на то, включается ли данное событие в ПЭП или нет.

При этом у администратора есть возможность принудительно изменить данный параметр. Принятие им такого решения должно быть основано на анализе величины степени отклонения от эталона отдельного события или множества событий и истории сетевых взаимодействий, соответствующих этим событиям. Самостоятельно переопределив ПД, администратор должен запустить процесс перестроения ПЭП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика выявления нарушений функционирования компонентов ВС упорядочивает и конкретизирует идеи, связанные с современным представлением о технологии обнаружения состояний нарушений анализируемых объектов по отклонению их поведения от ПЭП. Это позволит проанализировать возможные варианты объектов анализа с целью выявления нарушений функционирования компонентов ВС. Обоснован выбор отдельного компонента ВС, исходя из специфики решаемой задачи и особенностей сетевых протоколов.

Определены наиболее информативные наборы характеристик сетевого устройства, определяющие его взаимодействия по протоколам IP, TCP, UDP и ICMP. Это вызывает необходимость разработки новой формальной модели компонента ВС, представляющей собой формальное его описание с помощью интегральных показателей, являющихся входными данными для процессов выявления нарушений функционирования ВС. Это позволит существенно расширить известные на сегодняшний день модели.

Необходимо разработать способы и приемы структуризации сетевого трафика, позволяющие сохранять служебную информацию из заголовков сетевых пакетов без потери информативности с точки зрения возможности выявления нарушений функционирования ВС.

Предложен метод создания и актуализации ПЭП, который позволит реализовать принцип адаптивности методики к объективно нормальным изменениям в сети. Этому удалось достичь на основе модифицирования ПЭП в соответствии с результатами анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якименко А.А. Особенности совершенствования системы управления газотранспортным предприятием [Электронный ресурс]. – URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-380553.html>.
2. Автоматизация диспетчерского управления газотранспортным предприятием [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.informtransgas.ru/acstp-gof-2.html>.
3. Еременко В.Т. Синтез сетей передачи данных автоматизированных систем управления на основе критерия неблокируемой маршрутизации / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, О.О. Басов // НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ Белгородского государственного

- университета. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», 2011. – № 7(102). – Выпуск 18/1. – С. 168-176.
4. Еременко В.Т. Оптимизация ресурсов и управление процессами информационного обмена в сетях АСУТП на основе полевых шин / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, С.А. Максаков, А.И. Куленич // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011. – № 9. – С. 46-49.
 5. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии, 2011. – № 6. – С. 35-42.
 6. Еременко В.Т. Моделирование взаимодействия протокольных реализаций TCP RENO и TCP VEGAS в сети с ограниченной производительностью // Информационные системы и технологии, 2010. – № 1. – С. 109-114.
 7. Еременко В.Т. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Л.В. Кузьмина и др. // Информационные системы и технологии, 2012. – № 1. – С. 78-84.
 8. 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.
 9. Еременко В.Т. Рекурсивный алгоритм оценки минимальной величины канального ресурса в сети передачи данных / В.Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов // Информационные системы и технологии, 2012. – № 4. – С. 97-102.
 10. Еременко В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией / В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, С.А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. – № 4. – С. 38-46.
 11. Еременко В.Т. Решение задач управления сетевыми ресурсами в условиях динамического изменения конфигурации беспроводной сети АСУП / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, Д.А. Плащенков, Д.А. Краснов, С.А. Черепков, А.Е. Георгиевский // Информационные системы и технологии, 2012. – № 6. – С. 114-119.
 12. Еременко В.Т. Анализ моделей управления трафиком в сетях АСУП на основе технологии MPLS / В.Т. Еременко, С.В. Еременко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев // Информационные системы и технологии, 2013. – № 1. – С. 106-112.

Шульгин Роман Николаевич

Академия ФСО России, г. Орел

Преподаватель

Тел.: 8 953 612 03 11

E-mail: romanspartak1977@mail.ru

R.N. SHUL'GIN (*Teacher*)

Academy of Federal Agency of Protection of the Russian Federation, Orel

**WAYS AND RECEPTIONS OF IDENTIFICATION OF VIOLATIONS OF FUNCTIONING
IN COMPONENTS OF THE COMPUTER NETWORK
GAS TRANSMISSION COMPANY**

In article the technique of identification of violations in the information environment of the gas transmission company, based on processing of a network traffic and information analysis from fields of the network packages, differing procedural to rules of formation of a profile of violations is considered.

Keywords: *violations; network traffic; process of information exchange; gas transmission company.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Yakimenko A.A. Osobennosti sovershenstvovaniya sistemy' upravleniya gazotransportny'm predpriatiem [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://do.gendocs.ru/docs/index-380553.html>.

2. Avtomatizaciya dispatcherskogo upravleniya gazotransportny'm predpriyatiem [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.informtransgas.ru/acstp-gof-2.html>.
3. Eryomenko V.T. Sintez setej peredachi danny'x avtomatizirovanny'x sistem upravleniya na osnove kriteriya neblokiruemoj marshrutizacii / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, A.I. Oficerov, O.O. Basov // Nauchny'e vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Istoriya. Politologiya. E'konomika. Informatika», 2011. – № 7(102). – Vy'pusk 18/1. – S. 168-176.
4. Eryomenko V.T. Optimizaciya resursov i upravlenie processami informacionnogo obmena v setyax ASUTP na osnove polevy'x shin / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, S.A. Maksakov, A.I. Kulenich // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij, 2011. – № 9. – S. 46-49.
5. Modelirovanie informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x integririvanny'x ASU / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, T.M. Paramoxina, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2011. – № 6. – S. 35-42.
6. Eryomenko V.T. Modelirovanie vzaimodejstviya protokol'ny'x realizacij TCP RENO i TCP VEGAS v seti s ogranichennoj proizvoditel'nost'yu // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2010. – № 1. – S. 109-114.
7. Eryomenko V.T. metody' resheniya zadach raspredeleniya informacionny'x potokov v setyax peredachi danny'x predpriyatiya na osnove rezervirovaniya resursov / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, L.V. Kuz'mina i dr. // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2012. – № 1. – S. 78-84.
8. Eryomenko V.T., Afonin S.I. Sozdanie teoreticheskix osnov avtomatizacii i postroeniya texnologicheskoy sostavlyayushhej ASU territorial'no raspredelyonny'x predpriyatij // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2012. – № 2. – S. 99-105.
9. Eryomenko V.T. Rekursivny'j algoritm ocenki minimal'noj velichiny' kanal'nogo resursa v seti peredachi danny'x / V.Y. Eryomenko, L.V. Kuz'mina, D.A. Plashhenkov, D.A. Krasnov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2012. – № 4. – S. 97-102.
10. Eryomenko V.T. Metod proektirovaniya setej peredachi danny'x, sovместimy'x s neblokiruemoj marshrutizaciej / V.T. Eryomenko, A.I. Oficerov, S.A. Cherepkov // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij, 2012. – № 4. – S. 38-46.
11. Eryomenko V.T. Reshenie zadach upravleniya setevy'mi resursami v usloviyax dinamicheskogo izmeneniya konfiguracii besprovodnoj seti ASUP / V.T. Eryomenko, D.V. Anisimov, D.A. Plashhenkov, D.A. Krasnov, S.A. Cherepkov, A.E. Georgievskij // Informacionny'e sistemy' i tehnologii 2012. – № 6. – S. 114-119.
12. Eryomenko V.T. Analiz modelej upravleniya trafikom v setyax ASUP na osnove tehnologii MPLS / V.T. Eryomenko, S.V. Eryomenko, D.V. Anisimov, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2013. – № 1. – S. 106-112.

УДК 004.056.5

В.С. АТКИНА

**СИСТЕМА СИНТЕЗА ПРОЕКТОВ
РАЦИОНАЛЬНЫХ КАТАСТРОФОУСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Обоснована необходимость создания катастрофоустойчивых информационных систем как элемента стратегии планирования непрерывности бизнеса. Рассмотрены современные подходы к созданию катастрофоустойчивых информационных систем организаций. Приведена классификация катастрофоустойчивых решений и подходы к их анализу. Предложен и формально описан подход к синтезу проектов рациональных катастрофоустойчивых решений для информационных систем организаций.

Ключевые слова: катастрофоустойчивость; информационные системы; катастрофоустойчивые решения; непрерывность бизнеса.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из актуальных проблем в области обеспечения защиты информационных технологий и управления информационной безопасностью любой организации является проблема обеспечения непрерывности бизнеса и доступности информационных систем (ИС), осуществляющих обработку данных и выполнение ключевых бизнес-процессов. И это обуславливается не только современной действительностью, когда от времени доступа к информации или обработки какого-либо запроса зависит конкурентоспособность организации на рынке, но и регламентируется рядом внешних требований к непрерывности, описанных в Российском федеральном законодательстве, постановлениях правительства, стандартах и нормативно-методических документах.

Одним из направлений деятельности по обеспечению непрерывности функционирования ИС является создание катастрофоустойчивых систем, что является особенно актуальным в связи с постоянным возникновением катастроф и чрезвычайных ситуаций различного рода в самых различных областях человеческой деятельности [1]. Техногенные катастрофы, природные бедствия и социальные катастрофы в случае своего возникновения носят комбинированный характер и приводят к возникновению и развитию, зачастую неконтролируемого потока негативных последствий. Реализация подобных последствий может стать причиной прекращения функционирования ИС, нарушения доступности обрабатываемой информации, непрерывности бизнес-процессов и информационных потерь организации.

По данным исследований, проводимых компаниями Symantec, Strategic Research Institute и «Информзащита», нарушение непрерывности бизнес-процессов организации в результате катастрофических воздействий может привести как к полному прекращению деятельности организации, так и к ряду негативных экономических последствий, статистика которых представлена на рисунке 1.

Особенностью и общей чертой всех данных типов катастроф является, как правило, их случайность и трудность прогнозирования. Поэтому очень важным этапом в процессе создания катастрофоустойчивых систем является выбор и внедрение наиболее подходящих катастрофоустойчивых решений. Поскольку каждое из решений отличается своей стоимостью, временем внедрения и эффективностью, то для того, чтобы определить, какое из решений, а может быть, их сочетание, будет наиболее выгодно, по соотношению затрат на внедрение, стоимости информационных ресурсов, требований к уровню

катастрофоустойчивости и надежности функционирования ИС, необходимо провести их предварительную оценку.



Рисунок 1 – Статистика последствий нарушения непрерывности бизнес-процессов организации в результате катастрофического воздействия

Для решения указанной проблемы могут применяться автоматизированные системы поддержки принятия решений по оценке и синтезу проектов катастрофоустойчивых решений, которые позволяли бы учитывать специфику, особенности функционирования и модели наиболее актуальных катастроф для каждой конкретной организации.

КАТАСРОФОУСТОЙЧИВЫЕ РЕШЕНИЯ И ПОДХОДЫ К ИХ АНАЛИЗУ

Для сохранения устойчивости и стабильности функционирования ИС и обеспечения непрерывности выполнения бизнес-процессов организаций различного уровня в условиях неблагоприятного воздействия катастроф применяются и используются различные катастрофоустойчивые решения, направленные на обеспечение [1, 2]:

- непрерывности функционирования ИС;
- восстановления функционирования ИС.

Катастрофоустойчивые решения – это комплекс организационно-технических мероприятий, представляющих собой совокупность конфигурации программных и аппаратных средств, параметров настройки, инструктивных документов и организационных мер, которые обеспечивают сохранность жизненно важных данных и возможность продолжения работы в случае различных катаклизмов, влекущих за собой выход из строя или уничтожение части системы [3].

Катастрофоустойчивые решения по отношению своего местоположения относительно ИС организации могут быть как внешними, так и внутренними и применяться как до катастрофы (в качестве превентивных мер), так и после нее. Однако в соответствии с [4] применение катастрофоустойчивых решений до катастрофы позволяет не только минимизировать времена простоя ИС и восстановления ее отдельных подсистем, но и значительно сократить финансовые потери и потери данных, обрабатываемых в ИС. Подобная минимизация временных потерь, связанных с простоем ИС ($T_{прос}$), достигается за счет предварительной разработки плана поведения персонала и восстановительных мероприятий в случае наступления катастрофы ($T_{опт}$) и предварительного развертывания

катастрофоустойчивых решений (T_{DRS}), что, в свою очередь, приводит к сокращению времени восстановления функционирования ИС после наступления катастрофы (T_R) (рис. 2).

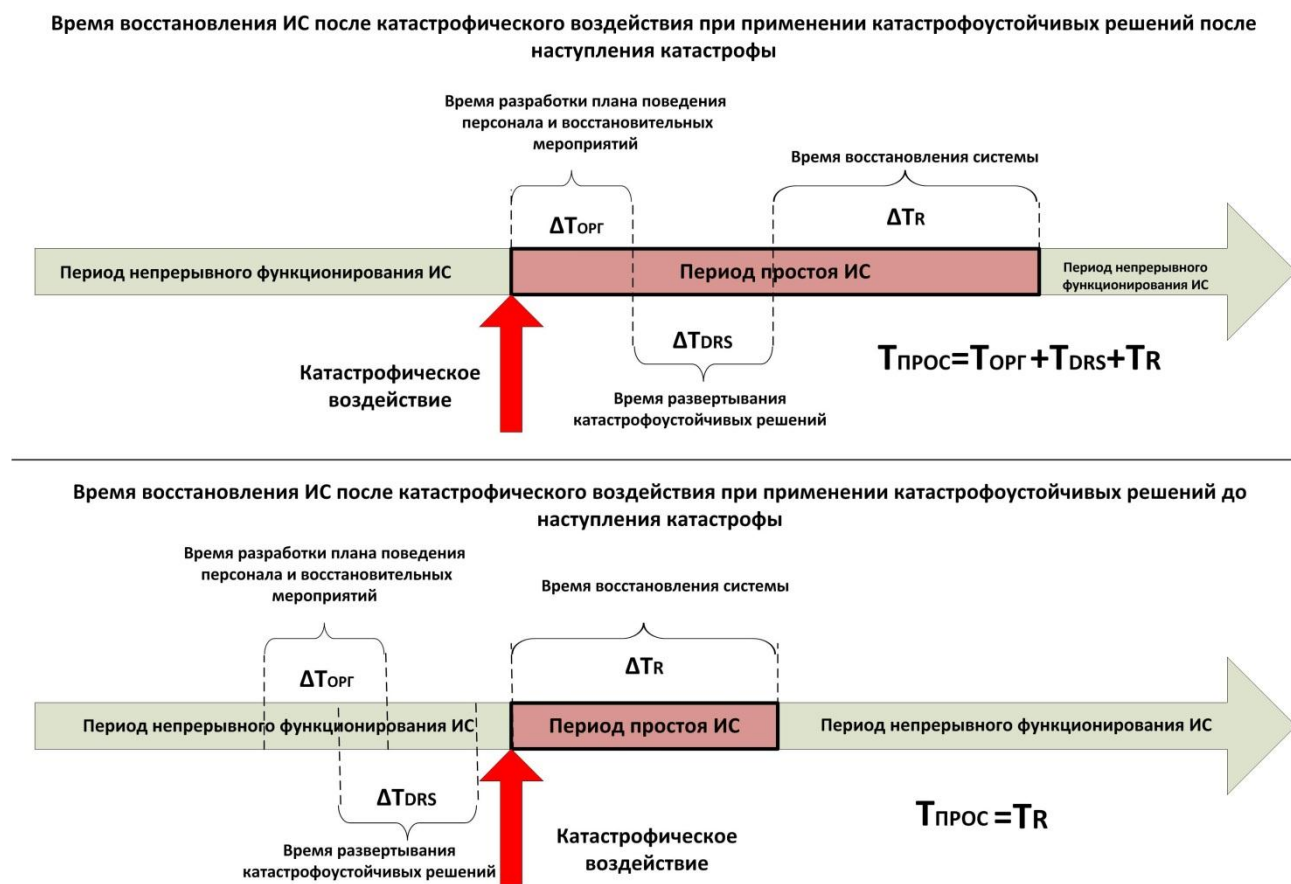


Рисунок 2 – Период простоя ИС после катастрофы при применении различных по своему целевому назначению катастрофоустойчивых решений

Можно сделать вывод о том, что назначение катастрофоустойчивого решения со стороны информационной безопасности состоит в обеспечении своевременной без потерь передачи или продолжении обработки данных на объекте ИС, не попавшем в зону действия катастрофы, а также в осуществлении на нем временной обработки данных до момента восстановления разрушенного либо создания нового объекта ИС. С технико-экономической точки зрения назначение катастрофоустойчивого решения состоит в минимизации ущерба, возможного при наступлении катастрофы, при разумной достаточности вложений в достижение катастрофоустойчивости.

Следовательно, при проведении оценки и синтезе проектов катастрофоустойчивых решений необходимо учитывать обе позиции.

В зависимости от целевого назначения работы по исследованию и оценке катастрофоустойчивых решений можно также разбить на два класса:

- синтез решений устойчивых к катастрофам;
- синтез решений направленных на восстановление после катастрофы.

В работах, направленных на анализ и синтез решений, устойчивых к катастрофам, предлагаются либо различные варианты динамической реконфигурации физической структуры системы [3, 6], либо варианты повышения ее живучести путем введения аппаратной избыточности [5, 7] или кластеризации [2, 4], при этом время восстановления функционирования как показатель оценки катастрофоустойчивости ИС, следовательно, и эффективности решения, не учитывается.

Работы, посвященные исследованию классов решений, направленных на минимизацию времени восстановления после катастрофы [8-10], направлены на установку связей между уровнями катастрофоустойчивости системы (классы IBM), классом доступности и набором конкретных решений. При этом в них не учитывается модель актуальных для конкретной организации катастроф и потенциальные риски.

Учитывая недостатки двух описанных выше подходов, в статье предлагается метод оценки и синтеза проектов катастрофоустойчивых решений, позволяющий учитывать характеристики катастрофоустойчивых решений, модель актуальных катастроф как угроз нарушения информационной безопасности в ИС и показатели катастрофоустойчивости ИС.

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ПРОЕКТОВ РАЦИОНАЛЬНЫХ КАТАСТРОФУСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ

В данной работе предлагается подход к решению проблемы синтеза проектов рациональных катастрофоустойчивых решений, основанный на расчете значения суммарной эффективности по 7 различным показателям для определенных катастрофоустойчивых решений при заданных характеристиках и показателях катастрофоустойчивости ИС. При этом учитываются наиболее распространенные и актуальные для анализируемой ИС катастрофы. В соответствии с [12] под рациональным катастрофоустойчивым решением понимается взвешенное решение, принятое на основе критерия максимального значения вектора эффективности, сравнения вариантов и с учетом специфики и показателей катастрофоустойчивости ИС конкретной организации.

Формально модель системы синтеза проектов рациональных катастрофоустойчивых решений (M_{PDRS}) можно представить в виде следующего кортежа:

$$M_{PDRS} = \{ \{DRS\}, \{DF\}, \{S_{IS}\} \},$$

где $\{DRS\}$ – множество катастрофоустойчивых решений; $\{DF\}$ – множество катастроф, $DF_i = (p, u, risk) | \forall DF_i \in \{DF\}$, где p – вероятность наступления катастрофы, u – потенциально возможный ущерб, $risk$ – риск от наступления катастрофы; $\{S_{IS}\}$ – множество, описывающее показатели катастрофоустойчивости ИС; $S_{IS} = (T_R, D_{class}, L, N_{Dlost}, Z)$, где T_R – общее время восстановления функционирования системы, D_{class} – класс доступности системы, L – уровень катастрофоустойчивости, N_{Dlost} – объем потерянных данных, Z – структурная живучесть ИС. Возможность применения и расчет данных показателей обоснованы в [1, 5, 10].

Для проведения оценки эффективности используется следующая вектор-функция:

$$E_c = E_r(R_{DRS}, C_{DRS}, T_{DRS}, W_{DF}, U_C, E),$$

где E_r – правило расчета эффективности, R_{DRS} – класс надежности решения, C_{DRS} – стоимость решения, T_{DRS} – время развертывания, W_{DF} – полезный выигрыш от перенесенных катастроф, U_C – средний предотвращенный ущерб, E – вычислительная эффективность.

Оценка эффективности производится по перечисленным выше критериям с нормировочными коэффициентами wh_i , которые отображают реальную важность того или иного показателя эффективности для конкретной ИС. В результате для каждого из анализируемых катастрофоустойчивых решений можно получить взвешенную оценку:

$$E_c = \sum wh_i * E_{ri} | \sum wh_i = 1, wh_i \geq 0.$$

Рассчитанные значения критериев эффективности (алгоритм и формулы расчета приведены в [11]) и комплексная взвешенная оценка помещаются в матрицу проектов решений PD размерностью $k \times 7$, где k – количество проанализированных решений. На основе множества катастрофоустойчивых решений $\{DRS^{PD}\}$, представленных матрицей PD , строится множество Парето $\{PD\}_\Pi$ по следующим критериям:

$\forall drs_i \in \{DRS^{PD}\} : drs_i \notin \{DRS^{IS}\}$, где $\{DRS^{IS}\}$ – подмножество уже существующих в ИС катастрофоустойчивых решений.

$T_{DRSj} \leq T_{DRS \max}$, где $T_{DRS \max}$ – предельно допустимое, со стороны организации владельца ИС, время развертывания катастрофоустойчивых решений.

$C_{DRSj} \leq C_{DRSmax}$, где C_{DRSmax} предельно допустимые, со стороны организации владельца ИС, финансовые затраты на развертывание катастрофоустойчивых решений.

Для выбора наиболее рациональных при данных условиях катастрофоустойчивых решений из множества Парето $\{PD\}_n$ используется следующее правило:

$$PD^{RAT} = \{PD | \max(E_c)\}_n.$$

Далее отобранные решения включаются во множество $\{DRS^{IS}\} = \{DRS^{IS}\} \cup PD^{RAT}$ и ИС с предложенными катастрофоустойчивыми решениями и подвергаются анализу по показателям катастрофоустойчивости. В случае, если значения показателей ИС считается удовлетворительными и соответствуют ожиданиям организации владельца ИС, то катастрофоустойчивые решения из множества PD^{RAT} рекомендуются ко внедрению как рациональные. В случае, если состояние системы классифицируется как неудовлетворительное, из множества $\{PD\}_n$ отбираются следующие по уровню приоритета решения и также подвергаются проверке.

Предложенный подход к синтезу проектов катастрофоустойчивых решений был реализован программно в виде системы поддержки принятия решений по выбору проектов рациональных катастрофоустойчивых решений.

РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ПРОЕКТОВ КАТАСТРОФУСТОЙЧИВЫХ РЕШЕНИЙ

С помощью разработанной системы было проведено исследование катастрофоустойчивости и синтез проекта наиболее рациональных катастрофоустойчивых решений для ИС организации.

Данная система представляет собой локальную ИС, расположенную в пределах 1 макрообъекта, по физической структуре имеет 100 физических узлов, из которых: 5 приходится на серверное оборудование; 13 единиц сетевого оборудования (из которых 1 маршрутизатор и 12 коммутаторов); 82 автоматизированных рабочих места пользователей, связанных 110 линиями связи. Средняя стоимость системы составляет 4000000 рублей. Изначально в ИС присутствуют следующие катастрофоустойчивые решения: план организационно-технических мероприятий и поведения персонала в случае наступления чрезвычайной ситуации, ежедневное резервирование информации с сервера на дисковый массив; присутствие аппаратной избыточности – резервного сервера, на который может быть передано управление в случае отказа или выхода из штатного режима действующих.

Организацией-владельцем ИС были выдвинуты следующие требования: уровень катастрофоустойчивости не менее 2, максимальное приемлемое время восстановления – 35 часов, класс доступности системы – 2, живучесть – 75%, объем потерянных данных не более 25%, максимально допустимые финансовые потери – 100000 рублей, время развертывания катастрофоустойчивых решений – 50 часов; стоимость проекта катастрофоустойчивых решений – 300000 рублей.

Для ИС были выделены следующие актуальные катастрофы и оценены возможные последствия и уровни риска, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Модель актуальных катастроф для анализируемой ИС

ДФ	Возможные последствия	Уровень риска
аварии в системах электропитания в серверной организации	нарушение или снижение качества электропитания, отказ или сбой серверного оборудования, нарушение непрерывности выполнения процессов	недопустимый риск

нарушение температурного режима в помещениях с рабочими станциями и АРМ пользователей в результате неисправности систем кондиционирования	сбои технических средств, снижение работоспособности персонала, нарушение непрерывности выполнения процессов, снижение качества информационных услуг	недопустимый риск
прорывы водопровода и линий канализации на макрообъекте	сбои технических средств, снижение работоспособности персонала	допустимый риск
аварии в системах отопления и водоснабжения в непосредственной близости к техническим средствам ИС	сбои, отказы и аварии технических средств, нарушение непрерывности выполнения процессов	допустимый риск
пожар на макрообъекте	неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением материальных ценностей, технических средств ИС и создающий опасность для жизни людей. Нарушение непрерывности выполнения процессов	недопустимый риск
землетрясение	аварии объектов инженерной инфраструктуры макрообъектов, неисправность и отказы оборудования ИС, нарушение непрерывности выполнения процессов	допустимый риск

При проведении анализа ИС с помощью разработанной системы были получены следующие данные: уровень катастрофоустойчивости – 2; время восстановления 46 часов, класс доступности – 1; живучесть – 65%; объем потерянных данных – 35%. При этом наиболее вероятен отказ таких критических элементов, как сервер СУБД, прокси-сервер и маршрутизатор.

Таким образом, для устранения выявленных несоответствий противодействие недопустимым по уровню риска катастрофам на основании полученных данных при заданных ограничениях системой были предложены следующие катастрофоустойчивые решения, являющиеся наиболее рациональными для данной ИС при заданных условиях:

- разработка и проведение организационно-технических мероприятий по проверке эффективности планов восстановления не реже 1 раза в шесть месяцев;
- применение облачных технологий для хранения носителя с резервной копией БД во внешнем территориально удаленном хранилище;
- создание резервных линий связи между серверным оборудованием и маршрутизатором;
- аппаратная избыточность – создание резервного сервера в помещении, удаленном от основной серверной организации, и установка дополнительного резервного маршрутизатора;
- зеркалирование данных сервера СУБД и прокси-сервера на резервный сервер;
- система пожарной сигнализации с датчиками, установленными во всех основных помещениях макрообъекта.

Далее с учетом предложенного проекта катастрофоустойчивых решений был проведен повторный анализ ИС; в результате были получены следующие результаты, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа катастрофоустойчивости ИС после внедрения предложенных катастрофоустойчивых решений

Показатель катастрофоустойчивости ИС	После применения предложенного проекта	Темп изменения показателей катастрофоустойчивости (%)	Причины изменения
--------------------------------------	--	---	-------------------

	решений		
Уровень катастрофоустойчивости	2	0	
Время восстановления	32	-30	за счет применения решений №1, 2, 4, 5, снижающих временные затраты на создание резервного вычислительного центра и ввод его в работу, и восстановить данные с территориально удаленной резервной копии
Класс доступности системы	2	100	достигается за счет общего снижения времени восстановления информации и функционирования ИС и применения решения 1 и 6, позволяющих предотвратить и уменьшить последствия пожара на макрообъекте и аварии в системе электроснабжения серверной
Живучесть	73	12,3	за счет применения решения 3,4, 6
Объем потерянных данных	24,3	-30,5	за счет применения решений 2, 4, 5 позволяющих в случае недоступности основного серверного оборудования или его полном отказе, быстро переключится на резервный сервер, и сократить время восстановления данных за счет резервных копий

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработанная система анализа катастрофоустойчивости может применяться как на этапе проектирования катастрофоустойчивых ИС, так и в процессе их эксплуатации в качестве инструмента мониторинга и поддержки принятия решений. Полученные в результате использования системы данные могут иметь большое значение при разработке плана реализации катастрофоустойчивых решений, пошаговое внедрение и своевременная корректировка которых позволит не только уменьшить потери в случае реализации катастрофы, но и по возможности полностью нейтрализовать ее воздействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аткина В.С. Применение иммунной сети для анализа катастрофоустойчивости информационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. Информационная безопасность, 2011. – № 12(125). – С. 203-210.
2. Сутягин М.В., Климанов В.П., Быстрикова В.А. Кластеризация вычислительных систем и вопросы их катастрофоустойчивости // МГТУ «Станкин» [Электронный ресурс]. – URL: http://magazine.stankin.ru/arch/n_20/index.shtml (дата обращения: 09.10.2010).
3. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Структурный анализ катастрофоустойчивой информационной системы // Труды СПИИРАН, 2009. – Вып. 8. – С. 128-153.
4. Сутягин М.В. Обеспечение надежности автоматизированных информационных систем на основе сетевой кластеризации серверов. Диссертационная работа. – М.: Российская

- государственная библиотека, 2005. – 191 с.
5. Аткина В.С. Живучесть системы как показатель ее катастрофоустойчивости // Проблемы обеспечения информационной безопасности в регионе: материалы III Регион. науч.-практ. конф., г. Волгоград, 20 апреля 2010 г. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2010. – С. 47-52.
 6. Винокуров Д.Е., Громов Ю.Ю. К проблеме анализа связности и живучести сетевой информационной системы // Информационные системы и процессы: сб. научн. тр. / под ред. В.М. Тютюнника. – Тамбов; М., СПб.; Баку; Вена: Нобелистика, 2005. – Вып. 3. – С. 106-113.
 7. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
 8. Рожков К.Н. Резервирование, тиражирование и восстановление данных в вычислительных системах с динамически изменяемой конфигурацией. – М.: Финансы и статистика, 2000.
 9. Будзко В.И. Количественные оценки отказоустойчивых и катастрофоустойчивых решений. – М.: Изд. «Вопросы защиты информации». Вопросы защиты информации, 2003. – № 2. – С. 19-32.
 10. Аткина В.С. Результаты исследования уровней катастрофоустойчивости корпоративных информационных систем // Журнал научных публикаций «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», 2012. – № 9(44). – С. 22-27.
 11. Аткина В.С. Оценка эффективности катастрофоустойчивых решений // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10. «Инновационная деятельность», 2012. – Вып. 6. – С. 89-93.
 12. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.

Аткина Владлена Сергеевна

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград

Старший преподаватель

E-mail: atkina.vladlena@yandex.ru

V.S. ATKINA (*Senior Teacher*)
Volgograd State University, Volgograd

THE SYSTEM OF SYNTHESIS RATIONAL DISASTER RECOVERY SOLUTIONS PROJECTS FOR ENTERPRISE INFORMATION SYSTEMS

The necessity of the development of disaster recovery information systems as part of business continuity planning strategy. Current approaches to the creation of disaster recovery information systems organizations considered. Presents classification disaster recovery solutions and approaches to their analysis. Proposed and formally described an approach to the synthesis of rational projects disaster recovery solutions for information systems organizations.

Keywords: *disaster recovery; information systems; disaster recovery solutions; business continuity.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Atkina V.S. Primenenie imunnoj seti dlya analiza katastrofoustojchivosti informacionny'x sistem // Izvestiya YuFU. Texnicheskie nauki. Informacionnaya bezopasnost', 2011. – № 12(125). – С. 203-210.
2. Sutyagin M.V., Klimanov V.P., By'strikova V.A. Klasterizaciya vy'chislitel'ny'x sistem i voprosy' ix katastrofoustojchivosti // MGTU «Stankin» [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://magazine.stankin.ru/arch/n_20/index.shtml (data obrashheniya: 09.10.2010).
3. Pavlov A.N., Sokolov B.V. Strukturny'j analiz katastrofoustojchivoj informacionnoj sistemy' // Trudy' SPIIRAN, 2009. – Vy'p. 8. – С. 128-153.
4. Sutyagin M.V. Obespechenie nadyozhnosti avtomatizirovanny'x informacionny'x sistem na osnove setevoy klasterizacii serverov. Dissertacionnaya rabota. – М.: Rossijskaya gosudarstvennaya biblioteka, 2005. – 191 s.
5. Atkina V.S. Zhivuchest' sistemy' kak pokazatelej' eyo katastrofoustojchivosti // Problemy'

- obespecheniya informacionnoj bezopasnosti v regione: materialy' III Region. nauch.-prakt. konf., g. Volgograd, 20 aprelya 2010 g. – Volgograd: Izd-vo VolGU, 2010. – S. 47-52.
6. Vinokurov D.E., Gromov Yu.Yu. K probleme analiza svyaznosti i zhivuchesti setevoy informacionnoj sistemy' // Informacionny'e sistemy' i processy': sb. nauchn. tr. / pod red. V.M. Tyutyunnika. – Tambov; M., SPb.; Baku; Vena: Nobelistika, 2005. – Vy'p. 3. – S. 106-113.
 7. Dodonov A.G., Lande' D.V. Zhivuchest' informacionny'x sistem. – K.: Nauk. dumka, 2011. – 256 s.
 8. Rozhkov K.N. Rezervirvanie, tirazhirovanie i vosstanovlenie danny'x v vy'chislitel'ny'x sistemax s dinamicheski izmenyaemoj konfiguraciej. – M.: Finansy' i statistika, 2000.
 9. Budzko V.I. Kolichestvenny'e ocenki otkazoustojchivy'x i katastrofoustojchivy'x reshenij. – M.: Izd. «Voprosy' zashhity' informacii». Voprosy' zashhity' informacii, 2003. – № 2. – S. 19-32.
 10. Atkina V.S. Rezul'taty' issledovaniya urovnej katastrofoustojchivosti korporativny'x informacionny'x sistem // Zhurnal nauchny'x publikacij «Aktual'ny'e problemy' gumanitarny'x i estestvenny'x nauk», 2012. – № 9(44). – S. 22-27.
 11. Atkina V.S. Ocenka e'ffektivnosti katastrofoustojchivy'x reshenij // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10. «Innovacionnaya deyatel'nost'», 2012. – Vy'p. 6. – S. 89-93.
 12. Rajzberg B.A., Lozovskij L.Sh., Starodubceva E.B. Sovremenny'j e'konomicheskij slovar'. – 2-e izd., ispr. – M.: INFRA-M, 1999. – 479 s.

УДК 004.422.837, 004.338, 004.087.5

С.А. ЛАЗАРЕВ, П.П. СИЛАЕВ

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ В СЕТИ ПОРТАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО КЛЮЧА ДОСТУПА

В данной статье рассматриваются прикладные аспекты реализации подсистемы многофакторной аутентификации пользователей с применением цифрового ключа доступа для сети корпоративных порталов в контексте построения информационных ассоциаций. В частности, представлено законченное техническое решение, предназначенное для использования конечными пользователями, на основе включения в программное окружение клиента сценария управления аутентификацией в форме Java-апплета. Отличительной особенностью данного решения является реализация в цифровом ключе доступа не только функций хранения секретных ключей, но и обработки с их помощью алгоритмами шифрования цифровой идентификационной информации только в рамках устройства. Также исследован механизм интеграции подсистемы многофакторной аутентификации в сеть корпоративных порталов на основе технологии вызова удаленных процедур. Работа по данной тематике проводилась в рамках государственного задания № 8.8504.2013 Минобрнауки РФ.

Ключевые слова: цифровой ключ доступа; информационные ассоциации; многофакторная аутентификация; управление доступом; информационный обмен; сеть порталов; Java-апплет; вызов удаленной процедуры.

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Построение информационных ассоциаций в глобальном информационном пространстве на основе сети корпоративных порталов [1-3] определяют необходимость решения задач обеспечения безопасности информационного взаимодействия пользователей. В качестве базового средства обеспечения безопасности в сети корпоративных порталов используется механизм аутентификации на основе многоцветных паролей [4-6]. В процессе создания подсистемы многофакторной аутентификации в сети корпоративных порталов решаются две важные задачи. Первое – это создание дополнительных механизмов защиты от несанкционированного доступа с целью повышения безопасности информационного обмена в сети порталов. Второе – это внедрение средств подтверждения авторской принадлежности и целостности размещаемых в сети информационных материалов.

В последнее время всё чаще применяется так называемая расширенная или многофакторная аутентификация. Она построена на совместном использовании нескольких факторов аутентификации, что значительно повышает защищенность программной системы [7, 8]. Поэтому одним из эффективных механизмов повышения уровня безопасности работы пользователей в сети порталов является внедрение в нее средств многофакторной аутентификации, которые бы одновременно позволили решить вторую задачу, связанную с публикацией авторских материалов.

Существующие технические решения по многофакторной аутентификации в большинстве своем ориентированы на жесткую привязку пользователя к его персональному рабочему месту (авторизованному терминалу) [8, 9]. Применительно к сети корпоративных порталов требуется реализация многофакторной аутентификации в удаленной системе с любого выбранного терминала посредством стандартных программных средств доступа в сеть Интернет.

Интеграция же в данное решение механизмов цифровой обработки информационных материалов аналогично электронной цифрой подписи существенно повышает требования к безопасности работы с ключами шифрования и устранению рисков их хищения и перехвата. Данное решение может быть реализовано только на основе некоторого цифрового

программируемого вычислительного устройства. При этом оно должно быть удобным в использовании, недорогим в изготовлении и применимо на всех современных компьютерах без использования дополнительных приспособлений. В этой связи возникает необходимость реализации механизмов безопасного взаимодействия программного окружения Интернет-браузера пользователя, с одной стороны, с цифровым ключом доступа, с другой – с серверной частью подсистемы аутентификации и авторизации пользователей сети корпоративных порталов.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ

Построение подсистемы многофакторной аутентификации основано на использовании цифрового портативного ключа доступа. Отличительной особенностью данного устройства является не только способность безопасно хранить секретные ключи, но и на их основе самостоятельно вычислять параметры алгоритмов шифрования, которые могут далее передаваться по открытым каналам связи, что существенно повышает безопасность использования устройства [11-13]. При этом мастер-ключ не копируется на персональный компьютер, где он сильно уязвим и может быть подвержен атаке. Это исключает его перехват вредоносными программами из программного окружения Интернет-браузера. Считывание же ключей из устройства физически неосуществимо в силу ряда принципов функционирования микроконтроллера, на основе которого оно построено.

Функциональные возможности устройства и сервисного программного обеспечения позволяют решать задачи подтверждения целостности и авторской принадлежности информационных ресурсов, размещаемых в сети порталов, что обуславливает универсальность данного технического решения.

Данное устройство спроектировано таким образом, чтобы оно соединялось с персональным компьютером с помощью стандартного интерфейса передачи данных (в данном случае был выбран интерфейс USB как наиболее популярный и доступный) без использования дополнительных считывателей.

В соответствии с методикой применения цифровых ключей для управления доступом в сети корпоративных порталов [10] в качестве основной функции портативного цифрового ключа доступа (ПЦКД) выступает не только хранение идентификационных данных, но и непосредственное участие в процессе генерации шифрограммы. Исходя из этого, следует, что элементная база ПЦКД должна основываться на микропроцессорной системе, имеющей аппаратный вычислитель.

В качестве ядра данной системы предлагается использовать 32-хразрядный микроконтроллер семейства AT91SAM7 фирмы Atmel. Технические характеристики и полный перечень особенностей приведен в таблицах описания для данного микроконтроллера [14-15].

Немаловажным аспектом при разработке данной подсистемы является выбор протокола для информационного обмена между персональным компьютером (ПК) пользователя и ПЦКД. Основными критериями для выбора протокола являются:

возможность реализации протокола на базе выбранного микроконтроллера;

высокая надежность и скорость передачи данных по интерфейсу;

возможность создания коммуникации между ПК и ПЦКД, используя известные методы и подходы.

Исходя из поставленных требований, в качестве протокола для взаимодействия ПК и ПЦКД был выбран протокол USB HID (Human Interface Device) [11, 17-18].

В предыдущих публикациях [10] о применении цифровых носителей идентификационной информации для управления доступом в сети корпоративных порталов была рассмотрена обобщенная схема информационного обмена в процессе аутентификации или обработки документа цифровой подписью.

При аутентификации пользователя в сети порталов (одним из узлов которой является конкретный сервер доступа) сервер отправляет случайную последовательность битов,

которые далее передаются в ПЦКД через универсальный последовательный интерфейс по протоколу USB-HID.

После этого ПЦКД шифрует полученную последовательность, используя алгоритмы шифрования, а также секретный ключ, позволяющий однозначно идентифицировать в системе пользователя – владельца ключа. Сгенерированный шифр отправляется на сервер доступа, где проходит процедуру верификации. При получении положительного ответа по окончании проверки в дополнение к ведённому логину и паролю неизвестный признаётся подлинным пользователем системы, в результате чего создаётся активный сеанс для данного пользователя [11-13].

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПОДСИСТЕМЫ

Представленная на рисунке 1 схема отражает физическое распределение программных компонентов подсистемы аутентификации с помощью ПЦКД в структуре системы управления доступом сети порталов. Как видно из схемы, разрабатываемая подсистема состоит из комплекса программно-аппаратных средств, что осложняет процесс интеграции. Всю подсистему можно разделить на две части – клиентскую и серверную.

Основным компонентом серверной части является сценарий управления аутентификацией, который встраивается в сервер доступа. При обращении пользователя к серверу доступа управление передается сценарию аутентификации, который выгружает клиенту специальный апплет и вспомогательные библиотеки. В серверную часть также входит сервер управления ключами, который отвечает за генерацию ключевых пар и установку на ПЦКД.

Клиентская часть представляет собой ПЦКД, где функционируют алгоритмы обработки и шифрования с установленным ключом, а также подгружаемые с сервера компоненты, обеспечивающие его взаимодействие с программным окружением пользователя.

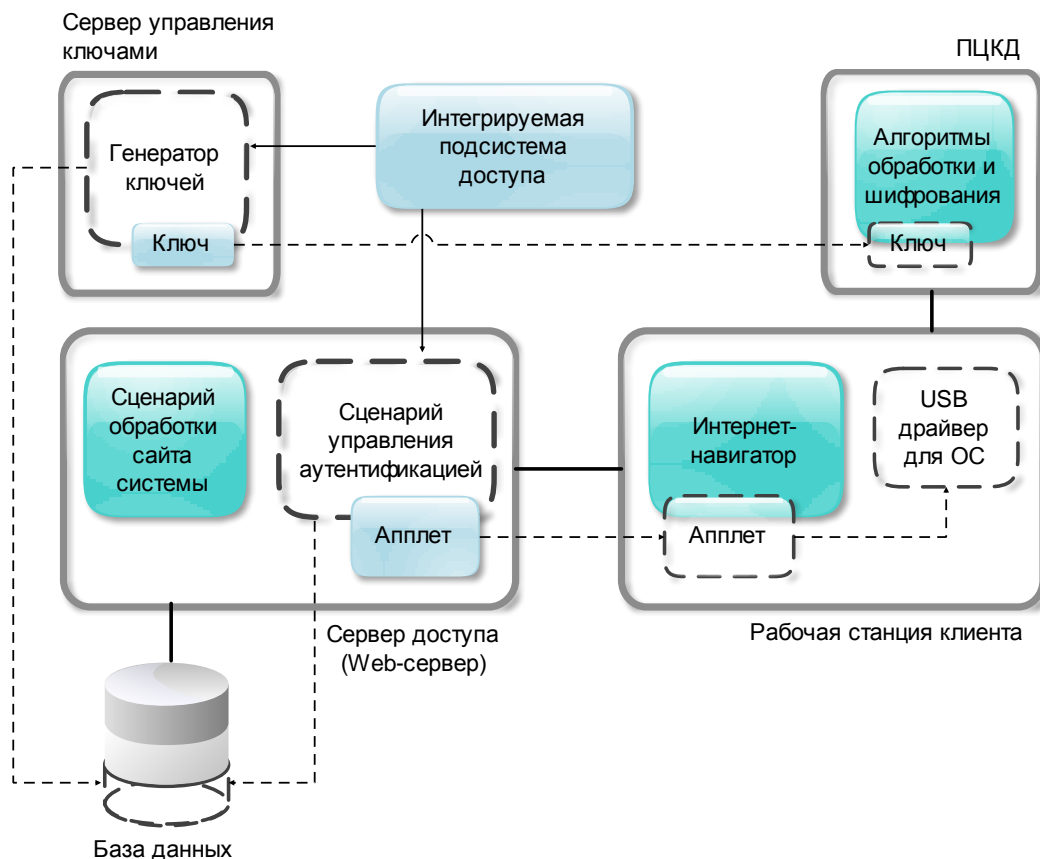


Рисунок 1 – Схема развёртывания компонентов подсистемы аутентификации

МЕХАНИЗМ ИНТЕГРАЦИИ ПОДСИСТЕМЫ В СЕТЬ ПОРТАЛОВ

В целях обеспечения интеграции подсистемы в соответствующие программные компоненты сервера управления доступом сети порталов решено было использовать технологию RPC (Remote Procedure Call или вызов удаленных процедур).

Идея вызова удаленных процедур состоит в расширении хорошо известного и понятного механизма передачи управления и данных внутри программы, выполняющейся на одной машине, на передачу управления и данных через сеть. Средства удаленного вызова процедур предназначены для облегчения организации распределенных вычислений. Наибольшая эффективность использования RPC достигается в тех приложениях, в которых существует интерактивная связь между удаленными компонентами с небольшим временем ответов и относительно малым количеством передаваемых данных [19].

Характерными чертами вызова удаленных процедур являются: асимметричность, когда одна из взаимодействующих сторон является инициатором; синхронность, когда выполнение вызываемой процедуры приостанавливается с момента выдачи запроса и возобновляется только после возврата из вызываемой процедуры.

К преимуществам технологии RPC можно отнести следующее:

высокий уровень скрытия реализации процедур;
широкие возможности для встраивания различных подсистем;
гибкие возможности внесения изменений в функционирование системы.

На основе структурной модели построения подсистемы многофакторной аутентификации на основе ПЦКД (рис. 1) была предложена схема (рис. 2) интеграции клиентских программных компонентов в сервер доступа с использованием технологии RPC [20].

В данной схеме можно выделить четыре ключевые сущности: пользователь, web-страница пользователя, пользовательский ключ (ПЦКД) и сервер доступа. В web-страницу встраивается Java-апплет и JavaScript. Java-апплет образует магистраль передачи данных фиксированного формата в ПЦКД, подключенное к ПК по интерфейсу USB-HID. JavaScript имеет описание и заголовки удаленных процедур, физически размещенных на сервере доступа. По имеющимся заголовкам JS может осуществлять удаленный вызов процедур, а также передавать параметры и обрабатывать результат. Для инициирования выполнения конкретной процедуры со стороны пользователя существуют интерфейсные объекты и связанные с ними обработчики событий.

При появлении новой функции на сервере достаточно определить интерфейсный объект и привязать к нему обработчик события, после чего пользователь сможет вызвать необходимую процедуру.

Наличие или отсутствие интерфейсных объектов может определять уровень полномочий доступа на основе списка прав. Необходимый набор интерфейсных объектов описывает тот или иной уровень прав доступа в соответствии с разрешениями для данного пользователя [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении следует отметить, что в данной статье были освещены прикладные аспекты решения задачи построения подсистемы безопасной многофакторной аутентификации в сети корпоративных порталов с использованием универсальных цифровых ключей доступа.

Рассмотрены функции подсистемы аутентификации с применением цифрового ключа доступа и технические особенности его реализации на основе микроконтроллера. Предложена технология решения поставленной задачи и представлено законченное техническое решение, предназначенное для использования конечными пользователями, на основе включения в программное окружение клиента сценария управления аутентификацией в форме Java-апплета. Исследован механизм интеграции подсистемы многофакторной

аутентификации в сеть корпоративных порталов на основе технологии вызова удаленных процедур.

Повышение безопасности функционирования подсистемы многофакторной аутентификации обусловлено хранением секретных ключей в устройстве доступа и обработкой с их помощью алгоритмами шифрования цифровой идентификационной информации внутри самого устройства. Это исключает перехват вредоносными программами секретных ключей пользователей из программного окружения Интернет-браузера. Универсальность данного технического решения заключается в том, что оно может использоваться для подтверждения целостности и авторской принадлежности информационных ресурсов, размещаемых в сети порталов.

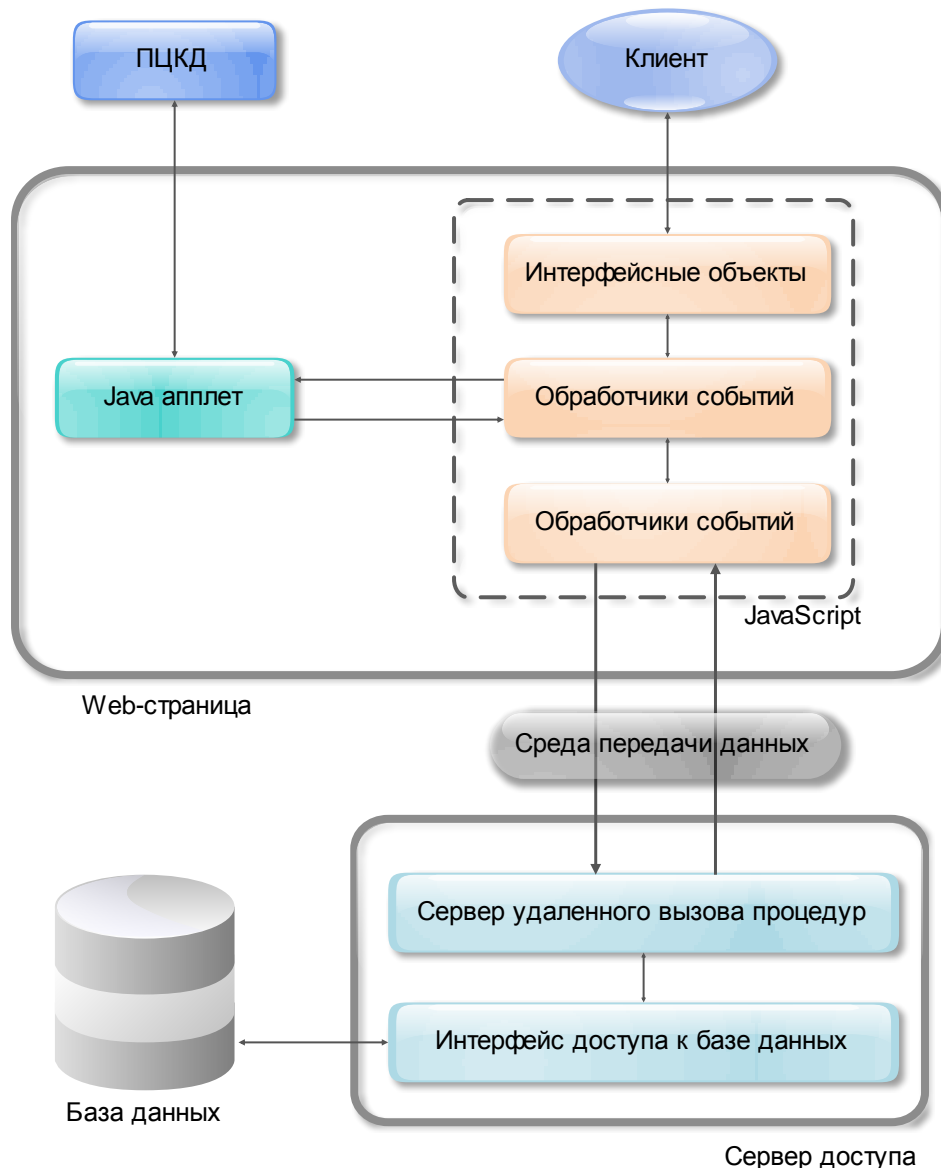


Рисунок 2 – Схема интеграции клиентского решения на основе ПЦКД с сервером доступа с использованием технологии RPC

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарев С.А., Демидов А.В. Концепция построения системы управления информационным обменом сети корпоративных порталов // Информационные системы и технологии. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2010. – № 4(60). – С. 123-129.

2. Константинов И.С., Лазарев С.А. Особенности построения системы управления информационным обменом сети корпоративных порталов // Информационные системы и технологии «ИСИТ-2011». Материалы I-ой международной научно-технической интернет-конференции. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011. – Т. 1. – С. 50-54.
3. Лазарев С.А. Некоторые аспекты создания информационных ассоциаций в глобальных сетях на основе построения сети корпоративных порталов // Информационные системы и технологии. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – № 1(69). – С. 103-106.
4. Запечников С.В. Информационная безопасность открытых систем. Том 1. Угрозы, уязвимости, атаки и подходы к защите / С.В. Запечников, Н.Г. Милославская, А.И. Толстой, Д.В. Ушаков. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с.
5. ГОСТ Р 50922-96. Защита информации. Основные термины и определения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2008. – 7 с.
6. Гостехкомиссия России. Руководящий документ: защита от несанкционированного доступа к информации. Термины и определения. – М.: ГТК, 1992.
7. Гостехкомиссия России. Руководящий документ: концепция защиты средств вычислительной техники и автоматизированных систем от несанкционированного доступа к информации. – М.: ГТК, 1992.
8. Смит Ричард Э. Аутентификация: от паролей до открытых ключей. – М.: Вильямс, 2002. – 432 с.
9. Константинов И.С. Правовое обеспечение информационной безопасности объектов информатизации и регулирование конституционных прав личности в информационной сфере / В.Т. Еременко, И.С. Константинов, А.В. Коськин и др. // под ред. д.т.н. А.П. Фисуна, к.ю.н. Ю.А. Белевской. – Орел: ОрелГТУ, 2008. – 428 с.
10. Лазарев С.А., Силаев П.П. Применение цифровых носителей идентификационной информации для управления доступом в сети корпоративных порталов // Информационные системы и технологии. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2011. – № 3(65). – С. 114-119.
11. Лазарев С.А., Силаев П.П. Механизм применения портативных цифровых устройств доступа в сети корпоративных порталов // Информационные системы и технологии. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – № 3(71). – С. 103-109.
12. Баричев С.Г. Основы современной криптографии. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 313 с.
13. ГОСТ Р 34.10-94 Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процедуры выработки и проверки электронной цифровой подписи на базе асимметричного криптографического алгоритма. – Введ. 1995-01-01. – М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 1995.
14. Евстифиев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. – М.: Додека-XXI, 2005. – 560 с.
15. Atmel Corporation. Описание микроконтроллеров семейства AT91SAM7 ARM-based // Atmel Corporation, 2011. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6175.pdf.
16. Лазарев С.А., Демидов А.В. Особенности построения подсистемы управления доступом системы управления информационным обменом сети корпоративных порталов // Информационные системы и технологии. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2012. – № 4(72). – С. 103-110.
17. Козлов Ю., Пронин В. HID-устройства // Создание USB-устройств, 2003. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.jais.ru/write10.html>.
18. Агуров П.В. Интерфейс USB. Практика использования и программирования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 576 с.
19. Олифер Н.А., Олифер В.Г. Сетевые операционные системы. – СПб: Питер, 2002. – 544 с.
20. Константинов И.С., Фролов А.И., Лукьянов П.В. Модели правил анализа и критериев контроля данных в системе административного мониторинга // Информационные системы и технологии, 2012. – № 4(72). – С. 70-77.

Лазарев Сергей Александрович

НИУ Белгородский государственный университет, г. Белгород
Кандидат экономических наук, старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории
информационно-измерительных и управляющих комплексов и систем
E-mail: lazarev_s@bsu.edu.ru

Силаев Павел Павлович

НИУ Белгородский государственный университет, г. Белгород
Аспирант кафедры математического и программного обеспечения информационных систем
E-mail: 844727@bsu.edu.ru

S.A. LAZAREV (*Candidate of Economic Sciences, Senior Research Associate of Teaching and Research Laboratory Information-measuring and Control Units and Systems*)

P.P. SILAEV (*Post-graduate Student of the Department of Mathematical and Software Information Systems*)
NRU Belgorod State University, Belgorod

**ASPECTS OF IMPLEMENTATION MULTIFACTOR
SECURITY USER AUTHENTICATION SUBSYSTEM
IN THE NETWORK PORTALS USING DIGITAL DEVICE**

This article focuses on applied aspects of the implementation of multi-factor authentication subsystem using the numeric passkey for the network enterprise portals in the context of building information associations. In particular, a complete solution designed for use by end-users, based on the inclusion in the client software environment management script authentication in the form of Java-applet. A distinctive feature of this solution is the implementation of a digital key access not only functions of storage of private keys, and processing them using encryption algorithms, digital identity only within the device. Also investigated the mechanism of integration subsystem multi-factor authentication to the network enterprise portal technology-based remote procedure call. Work on this topic was held in the framework of the state task number 8.8504.2013 Russian Ministry of Education.

Keywords: *digital device; information associations; multifactor authentication; access control; information exchange; network portals; Java-applet; remote procedure call.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Lazarev S.A., Demidov A.V. *Koncepciya postroeniya sistemy' upravleniya informacionny'm obmenom seti korporativny'x portalov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii. – Oryol: Iad-vo OryolGTU, 2010. – № 4(60). – S. 123-129.*
2. Konstantinov I.S., Lazarev S.A. *Osobennosti postroeniya sistemy' upravleniya informacionny'm obmenom seti korporativny'x portalov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii «ISiT-2011». Materialy I-oj mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj internet-konferencii. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2011. – T. 1. – S. 50-54.*
3. Lazarev S.A. *Nekotory'e aspekty' sozdaniya informacionny'x associacij v global'ny'x setyax na osnove postroeniya seti korporativny'x portalov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2012. – № 1(69). – S. 103-106.*
4. Zapechnikov S.V. *Informacionnaya bezopasnost' otkry'ty'x sistem. Tom 1. Ugrozy', uyazvimosti, ataki i podxody' k zashhite / S.V. Zapechnikov, N.G. Miloslavskaya, A.I. Tolstoj, D.V. Ushakov. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2006. – 536 s.*
5. GOST R 50922-96. *Zashhita informacii. Osnovny'e terminy' i opredeleniya. – M.: FGUP «Standartinform», 2008. – 7 s.*
6. *Gostexkomissiya Rossii. Rukovodyashhij dokument: zashhita ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. Terminy' i opredeleniya. – M.: GTK, 1992.*
7. *Gostexkomissiya Rossii. Rukovodyashhij dokument: koncepciya zashhity' sredstv vy'chislitel'noj tehniki i avtomatizirovanny'x sistem ot nesankcionirovannogo dostupa k informacii. – M.: GTK, 1992.*
8. Smit Richard E'. *Autentifikaciya: ot parolej do otkry'ty'x klyuchej. – M.: Vil'yams, 2002. – 432 s.*
9. Konstantinov I.S. *Pravovoe obespechenie informacionnoj bezopasnosti ob'ektov informatizacii i regulirovanie konstitucionny'x prav lichnosti v informacionnoj sfere / V.T. Eryomenko, I.S. Konstantinov, A.V. Kos'kin i dr. // pod red. d.t.n. A.P. Fisuna, k.yu.n. Yu.A. Belevskoj. – Oryol: OryolGTU, 2008. – 428 s.*

10. Lazarev S.A., Silaev P.P. Primenenie cifrovyy'x nositelej identifikacionnoj informacii dlya upravleniya dostupom v seti korporativny'x portalov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2011. – № 3(65). – S. 114-119.
11. Lazarev S.A., Silaev P.P. Mexanizm primeneniya portativny'x cifrovyy'x ustrojstv dostupa v seti korporativny'x portalov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2012. – № 3(71). – S. 103-109.
12. Barichev S.G. Osnovy' sovremennoj kriptografii. – M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2001. – 313 s.
13. GOST R 34.10-94 Informacionnaya tehnologiya. Kriptograficheskaya zashhita informacii. Precedury vy'rabotki i proverki e'lektronnoj cifrovoj podpisi na baze assimetrichnogo kriptograficheskogo algoritma. – Vved. 1995-01-01. – M.: Gosstandart Rossii: izd-vo standartov, 1995.
14. Evstifiev A.V. Mikrokontrollery' AVR semejstv Tiny i Mega firmy' Atmel. – M.: Dodeka-XXI, 2005. – 560 s.
15. Atmel Corporation. Opisanie mikrokontrollerov semejstva AT91SAM7 ARM-based // Atmel Corporation, 2011. [E'lektronny'j resurs]. – URL: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6175.pdf.
16. Lazarev S.A., Demidov A.V. Osobnosti postroeniya podsistemy' upravleniya dostupom sistemy' upravleniya informacionny'm obmenom seti korporativny'x portalov // Informacionny'e sistemy' i tehnologii. – Oryol: FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2012. – № 4(72). – S. 103-110.
17. Kozlov Yu., Pronin V. HID-ustrojstva // Sozdanie USB-ustrojstv, 2003. [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.jais.ru/write10.html>.
18. Agurov P.V. Interfejs USB. Praktika ispol'zovaniya i programmirovaniya. – SPb.: BXV-Peterburg, 2005. – 576 s.
19. Olifer N.A., Olifer V.G. Setevy'e operacionny'e sistemy'. – SPb: Piter, 2002. – 544 s.
20. Konstantinov I.S., Frolov A.I., Luk'yanov P.V. Modeli pravil analiza i kriteriev kontrolya danny'x v sisteme administrativnogo monitoringa // Informacionny'e sistemy' i tehnologii, 2012. – № 4(72). – S. 70-77.

УДК 004.056.53

К.А. МЕГАЕВ

МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ ПОРТАЛАХ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМКНУТЫХ ГРУПП ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В статье представлены способы и приемы образования замкнутых групп пользователей в корпоративных порталах, базирующиеся на сформированном множестве технических возможностей, позволяющая обеспечить дополнительную защиту от потерь пакетов и обеспечить управление трафиком и очередями пакетов в информационной среде.

Ключевые слова: корпоративный портал; замкнутая группа пользователей; коммутация пакетов; технические возможности.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время улучшение доступа и обработки информации компании, а также улучшение организации работы персонала компании в совместной бизнес-деятельности сотрудников, подразделений компании, ее отдельных структур достигается за счет применения корпоративных порталов.

Корпоративный портал – это программный комплекс, который обеспечивает защищенный персонифицированный web-интерфейс, посредством которого уполномоченные сотрудники компании и постоянные партнеры имеют доступ к требуемой им информации и приложениям в соответствии с правами разграничения доступа [1].

Вход в корпоративный портал, как правило, осуществляется при помощи обыкновенного браузера, и портал является единой точкой входа в информационную среду предприятия, обеспечивающий прозрачный доступ к данным автоматизированных систем управления предприятия, систем управления документооборота, корпоративных хранилищ данных, систем групповой работы и управления деловыми процессами. При этом портал снабжается мощными средствами поиска и категоризации информации, содержащейся в любых перечисленных корпоративных приложениях, а также в любых информационных ресурсах предприятия. Масштабы корпоративного портала распространяются от достаточно простой информационной системы, расположенной на сайте, до крупных комплексов, интегрирующих в единой информационной системе внутренние системы всех территориально удаленных точек компании (их автоматизированные системы управления и документооборота) или имеющих единую систему управления и документооборота, расположенную на защищенном web-сервере.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Корпоративный портал может быть разработан как самостоятельный сайт или в виде раздела любого корпоративного сайта, или без какого либо афиширования, а просто за счет разграничения прав доступа. Основным отличием корпоративных порталов от корпоративных сайтов является строго персонифицированный доступ к информации и приложениям корпоративного портала, затрагивающий жизненно важные аспекты деятельности и информационной безопасности компании.

Образование замкнутых групп пользователей (обозначаемых далее \tilde{R}) и двусторонних замкнутых групп пользователей (\tilde{S}) является одной из технических возможностей (ТВ), наиболее присущих корпоративному portalу, оно предусматривает использование принципа коммутации пакетов (КП). Соответствующие алгоритмические средства позволяют формировать группы, характеризующиеся различными комбинациями ограничений входящего или исходящего потока пакетов применительно к совокупности

пользователей, принадлежащих к группе. Данная ТВ может назначаться для конкретного пользователя на известный период.

СПОСОБЫ И ПРИЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ ПОРТАЛАХ НА ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМКНУТЫХ ГРУПП ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

В более общей постановке образование \tilde{R} и \tilde{S} не ограничивается рамками коммутации пакетов, а может быть типичной также для служб информационного обмена на базе коммутации каналов (КК). Основное назначение \tilde{R} и \tilde{S} состоит в защите по запросу пользователя (пользователей) определенной информации, передаваемой в среде корпоративного портала, от доступа со стороны других пользователей.

В основополагающих работах по этой проблематике, а также в практике разработок корпоративных порталов различного назначения, обсуждаются следующие виды указанной ТВ, допускающие образование замкнутых групп пользователей (ЗГП) \tilde{R} и \tilde{S} [4]:

а) «ЗГП» \tilde{R} – базовая ТВ, определяющая принадлежность пользователя к одной или нескольким ЗГП;

б) «ЗГП с исходящим доступом» \tilde{R}_1 , регламентирующая помимо свойств \tilde{R} направление виртуальных вызовов или вызовов – дейтаграмм пользователям, находящимся в открытой зоне корпоративной сети, или пользователям, которые входят в состав \tilde{R}_2 ;

в) «ЗГП с входящим доступом» R_2 , регламентирующая помимо свойств \tilde{R} получение виртуальных вызовов или вызовов – дейтаграмм из открытой зоны сети или от пользователей, которым предписана ТВ б);

д) «Запрещение входящих вызовов в ЗГП». Множество пользователей, применяющих эту ТВ, обозначается \tilde{R}_3 ;

е) «Запрещение исходящих вызовов в ЗГП» с соответствующим множеством пользователей \tilde{R}_4 .

Права пользователей с ТВ д) и е) противоположны. Эти ТВ являются дополнительными по отношению к ТВ а), б), в).

Пользователь, принадлежащий к ЗГП, реализует ТВ либо а), либо одну из ТВ б) и в), либо обе ТВ б) и в) совместно. В некоторой ЗГП могут воплощаться для различных пользователей все комбинации ТВ а) – е). Если пользователь входит в состав множества ЗГП, то одна из групп назначается главной.

В замкнутой группе \tilde{S} определенной паре пользователей предоставляются алгоритмические средства для осуществления двустороннего обмена пакетами, исключая в период обмена взаимодействие с другими пользователями сети, которые не входят в состав \tilde{S} . Пользователь может принадлежать множеству \tilde{S} .

В рамках \tilde{S} рассматриваются следующие виды ТВ:

а) «Двусторонняя ЗГП» – базовая ТВ (\tilde{S});

б) «Двусторонняя ЗГП с исходящим доступом» (\tilde{S}_1), сохраняющая все свойства S , но позволяющая пользователю направлять виртуальные вызовы или дейтаграммы пользователям, находящимся в открытой зоне сети.

Допускается принадлежность пользователя к \tilde{S} или \tilde{S}_1 , а также к \tilde{R} и другим ее видам. В этом случае вызовы, связанные с каждой ТВ, направляются независимо друг от друга. \tilde{S} и \tilde{S}_1 могут распространяться на межсетевые соединения применительно к службе виртуального вызова (ВВ) и дейтаграммной службе (ДТ).

Рассматриваемая концепция не исключает возможности взаимодействия пользователей, входящих в состав \tilde{R} или \tilde{S} , с другими пользователями телекоммуникационной среды предприятия. Однако это взаимодействие строго регла-

ментируется и осуществляется лишь в рамках, которые определяются видом применяемой ТВ. Типичный вариант взаимодействия \tilde{R} и \tilde{S} с открытой зоной телекоммуникационной средой предприятия, а также друг с другом, показан на рисунке 1, где символ 1 соответствует исходящему ВВ или дейтаграмме, а 2 – входящему ВВ или дейтаграмме.

Допускается принадлежность пользователя к \tilde{S} или \tilde{S}_1 , а также к \tilde{R} и ее разновидностям. В этом случае вызовы, связанные с каждой ТВ, направляются независимо друг от друга. \tilde{S} и \tilde{S}_1 могут распространяться на межсетевые соединения применительно к службам ВВ и ДТ.

Помимо своего основного назначения образование ЗГП способствует в известной степени и решению задач, не связанных непосредственно с защитой от несанкционированного доступа. К ним относятся:

дополнительная защита от потерь пакетов, включающих данные пользователя, и их засылок не по адресу;

ограничение трафика в сети и, следовательно, очередей пакетов в узлах коммутации.

Наиболее сложной в реализации является процедура регистрации двусторонних замкнутых групп пользователя.

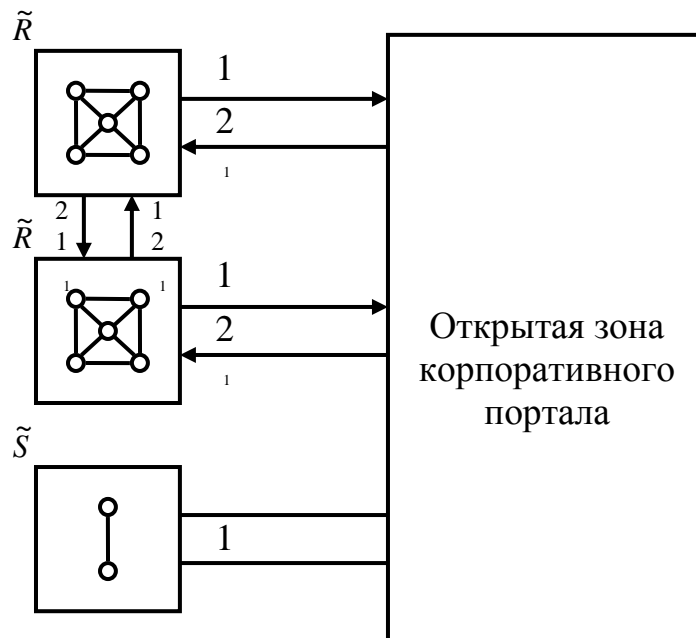


Рисунок 1 – Типичный вариант взаимодействия \tilde{R} и \tilde{S} с открытой зоной корпоративного портала

ПРОЦЕДУРА РЕГИСТРАЦИИ

ДВУСТОРОННИХ ЗАМКНУТЫХ ГРУПП ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ \tilde{S}

Обмен пакетами в \tilde{S} и \tilde{S}_1 контролируется путем автоматической регистрации и аннулирования ТВ. Соответствующие алгоритмические средства не определены в большинстве протоколов. Рассматриваемые далее процедуры применимы к \tilde{S} , однако в той же степени правомерны и для \tilde{S}_1 .

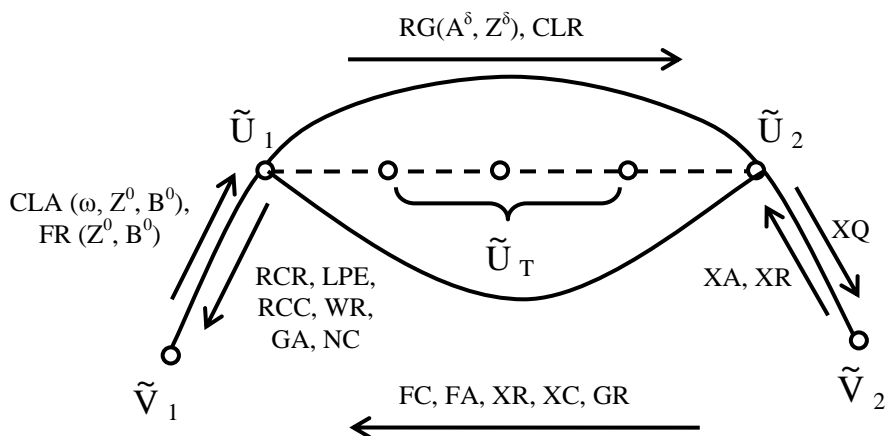


Рисунок 2 – Действия \tilde{U}_1 при инициации процедуры регистрации

При инициации со стороны пользователя \tilde{V}_1 , характеризующегося номером A^0 , в пакет запроса данной ТВ включается местный индекс Z^0 и номер B^0 пользователя \tilde{V}_2 (рис. 2). В узле \tilde{U}_2 на уровне L_3 обрабатывается область пакета Θ' и выявляется на основании кода IC корректность отношения $B^0 \leftrightarrow Z^0$, определяющего допустимость образования ЗГП с пользователями \tilde{V}_1 и \tilde{V}_2 . Возможны следующие случаи:

1) номер B^0 еще не зафиксирован в зоне $M_{\tilde{v}_1}(Z^0, B^0)$ таблицы $M_{\tilde{v}_1}$ соответствия, которая включена в информационный фонд \tilde{U}_1 . Координаты зоны задаются полным и сокращенным адресами \tilde{V}_2 . Осуществляется фиксация номера B^0 и \tilde{U}_1 направляет в \tilde{U}_2 пакет RG , содержащий в области Θ' признаки A^0 и Z^0 ;

2) номер B^0 уже зафиксирован в зоне $M_{\tilde{v}_1}(Z^0, B^0)$, но алгоритм регистрации не завершен, так как ответный пакет в направлении $\tilde{U}_2 \rightarrow \tilde{U}_1$ не получен; следовательно, признак ассоциации $\mu(B^0, Z^0)$ в этой зоне не установлен;

3) номер B^0 зафиксирован в зоне $M_{\tilde{v}_1}(Z^0, B^0)$, ответный пакет получен и признак ассоциации $\mu(B^0, Z^0)$ установлен. Таким образом, алгоритм регистрации к моменту окончания обработки области Θ' пакета $\tilde{F}\tilde{R}$ завершен. Тогда $\tilde{F}\tilde{R}$ интерпретируется как повторный запрос данной ТВ, а в направлении $\tilde{U}_1 \rightarrow \tilde{V}_1$ посылается специальный пакет подтверждения запроса RCR ;

4) при невыполнении \tilde{U}_1 условия $B^0 \leftrightarrow Z^0$ в адрес \tilde{V}_1 посылается служебный пакет LPE локальной ошибки в признаках ЗГП. Наиболее вероятным событием здесь является искажение признаков B^0 и/или Z^0 при передаче в среде корпоративного портала через компоненты \tilde{U}_1 , не обнаруживаемое нижними иерархическими уровнями протоколов, но обнаруживаемое в \tilde{U}_1 при обработке области Θ' заголовка пакета.

Действия \tilde{U}_2 .

В процессе обработки области Θ' пакета RG происходит обращение к зоне $M_{\tilde{v}_2}(Y^0, A^0)$ таблицы $M_{\tilde{v}_2}$ соответствия \tilde{U}_2 . Здесь Y^0 – местный индекс пользователя \tilde{V}_1 , применяемый \tilde{U}_2 в процессе регистрации. Возможны следующие реализации:

1) номер A^0 уже зафиксирован в зоне $M_{\tilde{v}_2}(Y^0, A^0)$, т.е. от V_2 получен пакет XA подтверждения регистрации \tilde{S} в ответ на запросный пакет XQ , однако признак $\mu(A^0, Y^0)$ ассоциации еще не установлен, т.е. процедура регистрации не завершена. \tilde{U}_2 устанавливает

признак $\mu(A^0, Y^0)$, связывает местные индексы Z^0 и Y^0 и направляет в \tilde{U}_1 пакет FC завершения регистрации, область Θ' которого включает местный индекс Y^0 ;

2) пакет XA от \tilde{V}_2 получен, признак ассоциации установлен и в зоне $M_{\tilde{v}_2}(Y^0, A^0)$ зафиксировано соотношение $Z^0 \leftrightarrow Y^0$. Тогда индекс Z^0 из области Θ' пакета RG сравнивается с индексом Z^0 , записанным в этой зоне; в случае совпадения в адрес \tilde{U}_1 направляется тот же пакет FC ;

3) если номер A^0 еще не зафиксирован в таблице соответствия $M_{\tilde{v}_2}$, то он фиксируется и в адрес \tilde{U}_1 передается служебный пакет FA «Запрос регистрации принят». Пакет же FC посылается только после поступления в \tilde{U}_2 пакета XA , содержащего признаки пользователя \tilde{V}_1 ;

4) если пользователь \tilde{V}_2 отказывается присоединиться к данной \tilde{S} , о чем оно сигнализирует служебным пакетом XR , то \tilde{U}_2 транслирует в адрес \tilde{U}_1 тот же пакет. Если же отказ \tilde{V}_1 от обмена информацией обусловлен другими причинами, например временной неработоспособностью DTE_2 , что подтверждается пакетом RNR X.25, то в адрес \tilde{U}_1 направляется пакет неготовности XC .

Действия \tilde{U}_1 после получения ответного пакета от \tilde{U}_2 .

1) при поступлении от \tilde{U}_2 пакета FC в \tilde{U}_1 устанавливается признак ассоциации $\mu(B, Z)$, связываются местные индексы Y_0 и Z_0 , а в адрес \tilde{V}_1 – инициатора алгоритма регистрации – посылается пакет RCR подтверждения регистрации/аннулирования \tilde{S} .

2) при поступлении от \tilde{U}_2 пакета FA никакие изменения в зону $M_{\tilde{v}_1}(Z^0, B^0)$ не вносятся до окончания обработки области Θ' пакета FC . В адрес \tilde{V}_1 может быть направлен служебный пакет с информацией в области Θ' о том, что пакет FA в \tilde{U}_2 принят.

3) если \tilde{U}_1 принимает любой из пакетов XR или XC , то вся информация в зоне $M_{\tilde{v}_1}(Z^0, B^0)$ стирается, а в направлении \tilde{V}_1 посылается пакет отказа WR .

Таким образом, алгоритм регистрации завершается на уровне L_3 после того, как права \tilde{V}_2 на образование \tilde{S} и ресурсы сети, необходимые для организации обмена пакетами в \tilde{S} , будут подтверждены. Невозможность завершения отвечает отсутствию ресурсов сети, а также отказу \tilde{V}_2 или неподтверждению его прав на образование \tilde{S} .

Соответствующие ответы направляются на уровень L_7 по стыкам α^0 и β^0 , после чего обмен пакетами может начинаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика образования замкнутых групп пользователей, базирующаяся на сформированном множестве технических возможностей. Она позволяет обеспечить дополнительную защиту от потерь пакетов и обеспечить управление трафиком в сети и очередями пакетов в узлах коммутации.

Предложенные алгоритмические средства позволяют формировать группы, характеризующиеся различными комбинациями ограничений входящего или исходящего потока пакетов применительно к совокупности пользователей, принадлежащих к группе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корпоративные порталы: определение, история развития, цели и средства [Электронный ресурс]. – URL: <http://otherreferats.allbest.ru/marketing/c00175610.html>.

2. Надеин А., Кузнецов В. Корпоративные интернет-порталы [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.e-commerce.ru/analytics/analytics-part/analytics15.html>.
3. Еременко В.Т. Синтез сетей передачи данных автоматизированных систем управления на основе критерия неблокируемой маршрутизации / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, О.О. Басов // НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ Белгородского государственного университета. Серия «История. Политология. Экономика. Информатика», 2011. – № 7(102). – Выпуск 18/1. – С. 168-176.
4. Еременко В.Т. Метод проектирования сетей передачи данных, совместимых с неблокируемой маршрутизацией / В.Т. Еременко, А.И. Офицеров, С.А. Черепков // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2012. – № 4. – С. 38-46.
5. Еременко В.Т. Моделирование пропускной способности сегмента беспроводной сети АСУП на базе стандарта 802.11 / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, С.А. Черепков, А.А. Лякишев, П.А. Чупахин // Информационные системы и технологии, 2013. – № 2. – С. 82-86.
6. Мордвинов В.А., Савочкин А.А., Свечников С.В. Учебно-методический комплекс по дисциплине Информсреда образования: информационные системы и порталы; учебное пособие. – М.: МГДД(Ю)Т, МИРЭА, ГНИИ ИТТ «Информика», 2004. – 39 с.

Мегаев Кирилл Андреевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – УНПК», г. Орел

Аспирант кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»

Тел.: 8 953 619 71 15

E-mail: megaev@mail.ru

K.A. MEGAEV (*Post-graduate Student of the Department «Mechatronics and international engineering»
State University – ESPC, Orel*)

**METHODS DATA FLOW CONTROL IN ENTERPRISE PORTALS
BY FORMING CLOSED USER GROUP**

The paper presents the methods and techniques of education closed group of users in corporate portals, based on the generated set of technical capabilities, allowing to provide additional protection against packet loss and ensure traffic management and queuing packets in the information environment.

Keywords: *corporate portal; closed user group; packet switching; technical capabilities.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Korporativny'e portaly': opredelenie, istoriya razvitiya, celi i sredstva [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://otherreferats.allbest.ru/marketing/c00175610.html>.
2. Nadein A., Kuznecov V. Korporativny'e internet-portaly' [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.e-commerce.ru/analytics/analytics-part/analytics15.html>.
3. Eryomenko V.T. Sintez setej peredachi danny'x avtomatizirovanny'x sistem upravleniya na osnove kriteriya neblokiruemoj marshrutizacii / S.I. Afonin, V.T. Eryomenko, A.I. Oficerov, O.O. Basov // NAUCHNY'E VEDMOSTI Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Istoriya. Politologiya. E'konomika. Informatika», 2011. – № 7(102). – Vy'pusk 18/1. – S. 168-176.
4. Eryomenko V.T. Metod proektirovaniya setej peredachi danny'x, sovmestimy'x s neblokiruemoj marshrutizaciej / V.T. Eryomenk, A.I. Oficerov, S.A. Cherepkov // Vestnik komp'yuterny'x i informacionny'x tehnologij, 2012. – № 4. – S. 38-46.
5. Eryomenko V.T. Modelirovanie propusknoj sposobnosti segmenta besprovodnoj seti ASUP na baze standarta 802.11 / V.T. Eryomenko, D.V. Anisimov, S.A. Cherepkov, A.A. Lyakishev, P.A. Chupaxin // Informacionny'e sistemy' iologii, 2013. – № 2. – S. 82-86.
6. Mordvinov V.A., Savochkin A.A., Svechnikov S.V. Uchebno-metodicheskij kompleks po discipline Informsreda obrazovaniya: informacionny'e sistemy' i portaly'; uchebnoe posobie. – М.: MGDD(Yu)T, MIRE'A, GNII ITT «Informika», 2004. – 39 s.

УДК 004.021

А.Б. СИЗОНЕНКО

МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО РЕКУРРЕНТНОГО РЕГИСТРА СДВИГА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НА ГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССОРЕ

Рассмотрены особенности архитектуры и организации вычислений общего назначения на графических процессорах. Предложен алгоритм распараллеливания процесса вычислений значений псевдослучайной последовательности, генерируемой линейным рекуррентным регистром сдвига, с использованием возможностей графических процессоров. Приведен пример генерации псевдослучайной последовательности путем перемножения матриц.

Ключевые слова: вычисления общего назначения на графическом процессоре; рекуррентный регистр сдвига; параллельные вычисления; криптографические преобразования.

ВВЕДЕНИЕ

В статье для генерации псевдослучайной последовательности предлагается использовать ресурсы графического процессора, который слабо задействован в вычислениях общего назначения. Он ориентирован на обработку трехмерных изображений и максимальную загрузку получает при выполнении именно таких задач. Во время ввода информации с клавиатуры и даже вывода информации на устройство отображения, не связанное с обработкой сложных трехмерных сцен, графический процессор оказывается загружен слабо. Он содержит несколько потоковых мультипроцессоров (Streaming Multiprocessor, SM), каждый из которых включает определенное количество ядер и эффективно выполняет однотипные вычисления с различными наборами данных [2].

Линейные рекуррентные регистры сдвига (ЛРРС) нашли широкое применение в криптографии, на их основе строится большое количество поточных шифров. Последовательности, генерируемые ЛРРС, хоть и являются псевдослучайными, но имеют невысокую линейную ложность [6]. Это делает невозможным их использование в прямом виде для шифрования. Тем не менее, возможность усложнения последовательности, вырабатываемой ЛРРС, и простота реализации с помощью цифровой аппаратуры обусловили широкое использование ЛРРС в качестве базового узла при построении большого количества поточных шифров.

Иногда возникает задача встречной работы аппаратных и программных шифраторов. И если аппаратная реализация шифраторов на основе ЛРРС будет достаточно эффективной, то производительность программной невелика. Повысить ее эффективность можно, используя ресурсы графического процессора. Для этого необходимо модифицировать алгоритм вычисления последовательности, генерируемой ЛРРС, представив его в формализованном матричном виде.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛИНЕЙНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ РЕГИСТРАХ СДВИГА

ЛРРС с обратными связями состоит из регистра сдвига и схемы, реализующей функцию обратной связи (рис. 1). Функция обратной связи в таких регистрах задается операцией «сумма по модулю два» над некоторыми битами регистра. Номера этих битов определяются на основе образующего полинома степени n [6]:

$$h(x) = x^n + h_{n-1}x^{n-1} + \dots + h_2x^2 + h_1x + h_0,$$

где $h_i \in \{0,1\}$ – коэффициент связей.

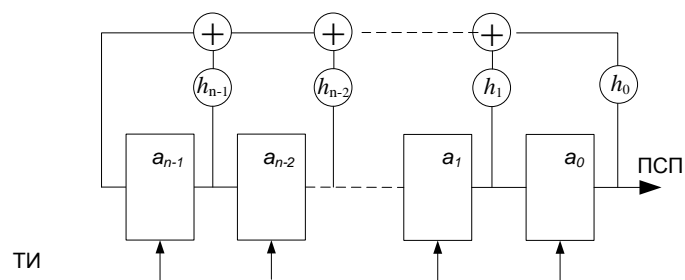


Рисунок 1 – Линейный рекуррентный регистр сдвига

Степень полинома будет определять длину регистра. В каждый момент времени ЛРПС находится в одном из 2^n-1 состояний. Для обеспечения максимального периода псевдослучайной последовательности, генерируемой ЛРПС, образующий полином должен быть неприводимым и примитивным. На его основе строится линейное рекуррентное уравнение, которое при выполнении вычислений в $GF(2)$ имеет следующий вид [5]:

$$x_{(n-1)(t+1)} = h_{n-1}x_{n-1} \oplus \dots \oplus h_1x_1 \oplus h_0x_0. \quad (1)$$

При программной реализации классическим способом начальное состояние ЛРПС записывается в регистр микропроцессора. Далее из разрядов, соответствующих рекуррентному уравнению, происходит извлечение отдельных бит и над ними выполняется операция «сумма по модулю два». После этого содержимое регистра сдвигается вправо на один бит, а самый старший заполняется вычисленным значением. Если длина ЛРПС больше длины регистра микропроцессора, то программная реализация немного усложняется. Как было отмечено выше, программная реализация ЛРПС неэффективна. В реальных криптосистемах используют образующие полиномы с большим количеством членов, что еще больше замедляет вычисления. Таким образом, возникает задача повышения производительности программной реализации рекуррентного регистра сдвига.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ В ВЫЧИСЛЕНИЯХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Графический процессор (Graphic Processing Unit, GPU) является массивно-параллельным сопроцессором центральному процессору (CPU). Последовательный код выполняется на CPU, а для массивно-параллельных вычислений используется GPU как набор одновременно выполняющихся нитей (threads). CPU состоит из нескольких ядер, предназначенных для последовательной обработки данных, в то время как GPU состоит из тысяч ядер, предназначенных для параллельной обработки данных. Для эффективной загрузки GPU необходимы тысячи нитей, в то время, как для CPU это значение составляет 10-20 [2].

Нити разбиваются на группы по 32 нити (warps). Обычно каждой нити соответствует один элемент вычисляемых данных. Нити разных warps могут находиться на разных стадиях выполнения [2]. Все запущенные нити организованы в иерархию: сетка – блок – нить. Сетка представляет собой одномерный или двухмерный массив блоков, каждый блок – одно-, двух- или трехмерный массив нитей [2].

Например, основанные на инновационных возможностях архитектуры Kepler последние графические процессоры Tesla обеспечивают производительность вычислений операций с плавающей запятой с двойной точностью выше 1 Терафлоп, при этом значительно усовершенствованы возможности программирования и энергоэффективность. Архитектура Kepler содержит 15 потоковых мультипроцессоров (SPX), каждый из которых содержит 192 ядра для вычислений с одинарной точностью, 32 блока двойной точности, 32 блока вычислений специальных функций. Каждый SPX может одновременно обрабатывать 2048 нитей [1].

АЛГОРИТМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАТРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ЛИНЕЙНЫМ РЕКУРРЕНТНЫМ РЕГИСТРОМ СДВИГА

Разработаем алгоритм вычисления элементов последовательности, вырабатываемой ЛРРС, приспособленный для реализации на графическом процессоре.

Учитывая особенности выполнения вычислений на графических процессорах, сначала необходимо представить несколько шагов функционирования ЛРРС одной системой булевых функций. Этот алгоритм описан в [3, 4] и заключается в следующем: каждое последующее состояние ЛРРС можно выразить через предыдущее. При этом значение самого старшего разряда вычисляется с помощью линейного рекуррентного уравнения (1), значения остальных разрядов вычисляются сдвигом вправо предыдущих значений ячеек ЛРРС.

Зависимость состояния РРС $\mathbf{X}_{t+1} = [x_{(n-1)(t+1)} \dots x_{0(t+1)}]$ в определенный момент времени от предыдущего заполнения $\mathbf{X}_t = [x_{(n-1)t} \dots x_{0t}]$ задается системой логических выражений:

$$\mathbf{X}_{t+1} = \begin{cases} x_{(n-1)(t+1)} = f(\mathbf{X}, \mathbf{H}) = h_{(n-1)}x_{(n-1)t} \oplus \dots \oplus h_0x_{0t}, \\ x_{(n-2)(t+1)} = x_{(n-1)t}, \\ x_{(n-3)(t+1)} = x_{(n-2)t}, \\ \vdots \\ x_{1(t+1)} = x_{2t}, \\ x_{0(t+1)} = x_{1t}, \end{cases} \quad (2)$$

где t – предыдущее состояние ЛРРС, $t+1$ – последующее состояние РРС.

Вычисляя последовательно каждое последующее состояние РРС через предыдущее по системе логических выражений (2), можно построить зависимость состояния РРС через определенное число тактов функционирования \mathbf{X}_{t+d} от начального заполнения \mathbf{X} :

$$\mathbf{X}_{t+d} = \begin{cases} x_{(n-1)(t+d)} = f_{n-1}(\mathbf{X}), \\ \vdots \\ x_{1(t+d)} = f_1(\mathbf{X}), \\ x_{0(t+d)} = f_0(\mathbf{X}). \end{cases} \quad (3)$$

Каждое выражение, составляющее систему, является линейным полиномом Жегалкина. Для формализации алгоритма определения выражений, описывающих состояние ЛРРС в определенный момент времени, коэффициенты при логических переменных удобно представить в виде матрицы:

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{00} & w_{01} & \dots & w_{0n-1} \\ w_{10} & w_{11} & \dots & w_{1n-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_{(n-1)0} & w_{(n-1)1} & \dots & w_{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix},$$

где $w_{ij} \in \{0,1\}$.

В начальный момент времени матрица коэффициентов будет иметь вид:

$$\mathbf{W}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

Для нахождения коэффициентов в следующий момент времени необходимо умножить матрицу на вектор коэффициентов линейного рекуррентного уравнения:

$$\mathbf{W}_{t+1} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{W}_t; \tag{4}$$

полученный вектор необходимо подставить в первую строку матрицы, а остальные строки сдвинуть на одну вниз.

Для получения матрицы коэффициентов системы выражений, описывающих состояние через d тактов функционирования, необходимо преобразование (4) выполнить n раз. Причем для вычисления будем брать первые n строк матрицы \mathbf{W} .

Значения элементов псевдослучайной последовательности (Γ) вычисляются путем умножения образующей матрицы \mathbf{W} на вектор-столбец начального заполнения:

$$\Gamma = \mathbf{W} \cdot X_0. \tag{5}$$

Начальное заполнение для следующего шага функционирования получаем из n старших элементов отрезка псевдослучайной последовательности, вычисленной на предыдущем шаге.

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ИСТОЧНИКА ШУМА

Для образующего полинома $h(x) = x^7 \oplus x^1 \oplus 1$ линейное рекуррентное уравнение будет иметь вид:

$$x_{6(t+1)} = x_{1t} \oplus x_{0t}.$$

Для начального заполнения $X = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1)$ смена состояний ЛРПС и генерируемая последовательность (x_0) показана в таблице 1.

Пусть необходимо предложенным способом параллельно вычислить 15 элементов гаммы.

Таблица 1 – Смена состояний ЛРПС

	x_6	x_5	x_4	x_3	x_2	x_1	x_0
0	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	0	1	1	0
2	1	1	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0	1
4	1	0	1	1	1	0	0
5	0	1	0	1	1	1	0
6	1	0	1	0	1	1	1
7	0	1	0	1	0	1	1
8	0	0	1	0	1	0	1
9	1	0	0	1	0	1	0
10	1	1	0	0	1	0	1
11	1	1	1	0	0	1	0
12	1	1	1	1	0	0	1
13	1	1	1	1	1	0	0
14	0	1	1	1	1	1	0
15	1	0	1	1	1	1	1
16	0	1	0	1	1	1	1
17	0	0	1	0	1	1	1
18	0	0	0	1	0	1	1
19	0	0	0	0	1	0	1
20	1	0	0	0	0	1	0
21	1	1	0	0	0	0	1
22	1	1	1	0	0	0	0
23	0	1	1	1	0	0	0
24	0	0	1	1	1	0	0
25	0	0	0	1	1	1	0
26	1	0	0	0	1	1	1
27	0	1	0	0	0	1	1
28	0	0	1	0	0	0	1
29	1	0	0	1	0	0	0
30	0	1	0	0	1	0	0
31	0	0	1	0	0	1	0
32	1	0	0	1	0	0	1
33	1	1	0	0	1	0	0
34	0	1	1	0	0	1	0
35	1	0	1	1	0	0	1
36	1	1	0	1	1	0	0

Построим образующую матрицу, 15 раз применив преобразование (4). Процесс вычисления первых двух строк образующей матрицы показан ниже.

$$W_{t+1} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1) \cdot \begin{matrix} x_6 & x_5 & x_4 & x_3 & x_2 & x_1 & x_0 \\ \left(\begin{array}{ccccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \end{matrix} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1)$$

$$W_{t+2} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1) \cdot \begin{matrix} x_6 & x_5 & x_4 & x_3 & x_2 & x_1 & x_0 \\ \left(\begin{array}{ccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \end{matrix} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0)$$

После выполнения пятнадцати шагов образующая матрица будет иметь следующий вид:

	x_6	x_5	x_4	x_3	x_2	x_1	x_0	
γ_{14}	0	0	0	1	1	1	1	x'_6
γ_{13}	1	0	0	0	1	1	0	x'_5
γ_{12}	0	1	0	0	0	1	1	x'_4
γ_{11}	1	0	1	0	0	0	0	x'_3
γ_{10}	0	1	0	1	0	0	0	x'_2
γ_9	0	0	1	0	1	0	0	x'_1
γ_8	0	0	0	1	0	1	0	x'_0
γ_7	0	0	0	0	1	0	1	
γ_6	1	0	0	0	0	1	1	
γ_5	1	1	0	0	0	0	0	
γ_4	0	1	1	0	0	0	0	
γ_3	0	0	1	1	0	0	0	
γ_2	0	0	0	1	1	0	0	
γ_1	0	0	0	0	1	1	0	
γ_0	0	0	0	0	0	1	1	

Переменными x' обозначено начальное заполнение ЛРРС для следующего цикла функционирования (выработки следующих 15 элементов гаммы).

Процесс вычисления 15 элементов гаммы приведен ниже

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Начальное заполнение для очередного цикла функционирования ((6), пунктирная линия) будет следующим:

$$X' = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1),$$

а вычисленный на его основе очередной отрезок гаммы:

$$\Gamma' = (0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \mid 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0).$$

В эквивалентности вычислений, выполненных классическим и матричным способом, можно убедиться, согласно таблице 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье показана возможность применения графических процессоров, ориентированных на выполнение арифметических матричных операций для генерации псевдослучайной последовательности. Полученные результаты могут лечь в основу дальнейших исследований по применению подобного рода вычислителей для криптографических преобразований, помехоустойчивого кодирования и др. Это позволит более полно использовать имеющиеся в составе ПЭВМ ресурсы и повысить производительность таких преобразований, выполняемых программно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NVIDIA's Next Generation CUDA Compute Architecture: Kepler TM GK110 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nvidia.ru/content/PDF/kepler/NVIDIA-Kepler-GK110-Architecture-Whitepaper.pdf>.
2. Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 232 с.
3. Сизоненко А.Б. Параллельная реализация рекуррентного регистра сдвига на основе представления систем логических функций арифметическими полиномами // Теория и техника радиосвязи, 2012. – № 3. – С. 111-116.
4. Сизоненко А.Б. Параллельная схемотехническая реализация линейного рекуррентного регистра сдвига // Проектирование и технология электронных средств, 2012. – № 2. – С. 43-47.
5. Фомичев В.М. Дискретная математика и криптология: курс лекций / под общ. ред. Н.Д. Подуфалова. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 400 с.
6. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. – М.: Издательство ТРИУМФ, 2003. – 816 с.

Сизоненко Александр Борисович
Краснодарский университет МВД России, г. Краснодар

Кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры оперативно-розыскной деятельности и специальной техники
E-mail: siz_al@mail.ru

A.B. SIZONENKO (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Deputy Head of the Department of operational and investigative activities and special equipment*)
Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Krasnodar

**MODEL OF LINEAR RECURRENCE OF THE SHIFT REGISTER
FOR A PARALLEL IMPLEMENTATION ON GRAPHICS PROCESSORS**

The features of architecture and algorithms for general-purpose computing on GPUs are considered. An algorithm for parallel computing of pseudorandom sequence generated by Linear Feedback Shift Register, using the capabilities of GPUs is proposed. An example of generating the pseudo-random sequence by multiplying matrices is given.

Keywords: *General-purpose GPU computing; linear feedback shift register; parallel computations; cryptographic transformations.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. NVIDIA's Next Generation CUDA Compute Architecture: Kepler TM GK110 [E'lektronny'j resurs]. – URL: <http://www.nvidia.ru/content/PDF/kepler/NVIDIA-Kepler-GK110-Architecture-Whitepaper.pdf>.
2. Borekov A.V., Xarlamov A.A. Osnovy' raboty' s texnologiej CUDA. – M.: DMK Press, 2013. – 232 s.
3. Sizonenko A.B. Paralle'naya realizaciya rekurrentnogo registra sdviga na osnove predstavleniya sistem logicheskix funkcij arifmeticheskimi polinomami // Teriya i texnika radisvyazi, 2012. – № 3. – S. 111-116.
4. Sizonenko A.B. Paralle'naya sxemotexnicheskaya realizaciya linejnogo rekurrentnogo registra sdviga // Proektirovanie i texnologiya e'lektronny'x sredstv, 2012. – № 2. – S. 43-47.
5. Fomichev V.M. Diskretnaya matematika i kriptologiya: kurs lekcij / pod obshh. red. N.D. Podufalova. – M.: Dialog-MIFI, 2003. – 400 s.
6. Shnajer B. Prikladnaya kriptografiya. Protokoly', algoritmy', isxodny'e teksty' na yazy'ke Si. – M.: Izdatel'stvo TRIUMF, 2003. – 816 s.

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 (полуужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, ученое звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт).

Сведения об авторах предоставляются отдельным файлом и обязательно дублируются на английском языке.