

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

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

R E S E A R C H R E S U L T

Том 3 | № 1
Volume 3 | 2018

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION
TECHNOLOGY

Сайт журнала:
rrinformation.ru

сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal



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

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



Том 3, № 1. 2018

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN 2518-1092



Volume 3, № 1. 2018

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL TEAM:

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

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.
Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education
«Belgorod State National Research University»
Publisher: Belgorod State National Research University
Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia
Publication frequency: 4 /year

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

COMPUTER SIMULATION HISTORY

Петина М.А., Егоров И.А., Коваленко А.Н., Решетникова Л.К. О разработке имитационной динамической модели распространения подземных вод	3	Petina M.A., Egorov I.A., Kovalenko A.N., Reshetnikova L.K. On the development of a simulation dynamics model of the groundwater distribution	3
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ		SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE	
Ломакин В.В., Михайлова С.В., Белоконь Ю.Ю. Построение формального описания профиля компетентности сотрудников ИТ-фирмы при помощи редактора онтологий Protégé	11	Lomakin V.V., Mihajlova S.V., Belokon Yu.Yu. Creation of a formal description of the competence profile of IT-company employees with the help of the ontology editor Protege	11
Бестаева Н.В., Султангалиева Дж.К., Зубова А.Д. Исследование систем мониторинга в сельскохозяйственной сфере	19	Bestaeva N.V., Sultangalieva Dj.K., Zubova A.D. The research of monitoring system in agricultural sphere	19
Ходусов В.Д., Пигнастый М.О. О методах исследования траекторий движения предметов труда в фазовом пространстве состояний	25	Khodusov V.D., Pihnastyi M.O. On the methods of investigating the trajectories of the motion of objects of labor in the phase space of states	25
ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ		INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION	
Смирнов А.В., Волощенко И.С., Кузнецов А.В., Басов О.О. Имитационное и натурное моделирование устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи	36	Smirnov A.V., Voloshchenko I.S., Kuznetsov A.V., Basov O.O. The imitating and natural modeling of the device intended for causing fault in the electrical communication cable	36
Джанаев С.А.-Б., Алишева А.Е., Цыгута А.Н. Методы определения уровня электромагнитного поля беспроводных систем связи, и их соответствие требованиям санитарных норм	43	Dzhanaev S.A.-B., Alisheva A.E., Tsyguta A.N. Methods for determining the level of the electromagnetic field of wireless communication systems and their conformity to the requirements of sanitary standards	43
Архипов С.Н., Кузнецов А.В. Оптическая коммутация на основе изменения проводимости массива световодов в устройствах коллимирующего типа	53	Arhipov S.N., Kuznetsov A.V. Optical commutation based on the change of an optical fiber array conductivity in collimate type devices	53

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
COMPUTER SIMULATION HISTORY**

УДК 004.822

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-3-10

**Петина М.А.¹
Егоров И.А.¹
Коваленко А.Н.¹
Решетникова Л.К.²****О РАЗРАБОТКЕ ИМИТАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**¹⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия²⁾ Белгородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, проезд Автомобилистов, д. 6, г. Белгород, 308004, Россия

e-mail: petina_m@bsu.edu.ru

Аннотация

В статье рассматривается применение модели знаний о динамике распространения подземных вод на примере Ильинского водозабора. Показано изменение уровня подземных вод в зависимости от увеличения количества откачиваемой воды, изменение уровня подземных вод в соседних скважинах при увеличении количества откачиваемой воды. Сделан вывод, что увеличение забора воды в одной из скважин водозабора приводит к осушению скважин водозабора, находящихся по направлению течения воды. Рассмотрено функционирование дренажных систем ГОКов и транспортировка пульпы в хвостохранилище, объем забираемой воды из ГОКов на нужды городских округов. Из эксперимента видно, что изменение толщины защитной стенки хвостохранилища, а также использование эффективных материалов для изоляции хвостов, напрямую влияет на объем и скорость протекающей сквозь защитную стенку загрязненной воды. Модель отражает сезонные колебания уровня подземных вод. Наличие встроенного языка описания функциональных узлов делает модель очень гибкой в использовании. При проведении экспериментов можно имитировать различные техногенные условия путем изменения соответствующих методов, а также значений показателей узловых объектов.

Ключевые слова: имитационная модель; подземные воды; уровень подземных вод; водозабор.

UDC 004.822

**Petina M.A.¹
Egorov I.A.¹
Kovalenko A.N.¹
Reshetnikova L.K.²****ON THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION DYNAMICS MODEL
OF THE GROUNDWATER DISTRIBUTION**¹⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia²⁾ Belgorod center for Hydrometeorology and environmental monitoring, 6 Avtomobilistov proezd, Belgorod, 308004, Russia

e-mail: petina_m@bsu.edu.ru

Abstract

The article discusses the application of the model of knowledge about the dynamics of groundwater distribution on the example of Ilyinsky water intake. The change in the groundwater level depending on the increase in the amount of pumped water, the change in the level of groundwater in neighboring wells with an increase in the amount of pumped water. It is concluded that the increase of water intake in one of the wells of water intake leads to drainage of wells of water intake, located in the direction of water flow. Deals with the functioning of drainage systems, processing plants and transportation of the pulp to the tailing, the volume of

water withdrawn from GOK to the needs of urban districts. The experiment shows that the change in the thickness of the protective wall of the tailings storage facility, as well as the use of effective materials for the isolation of tails, directly affects the volume and speed of contaminated water flowing through the protective wall. The model reflects seasonal fluctuations in groundwater levels. The presence of built-in language description of functional nodes makes the model very flexible to use. During the experiments, it is possible to simulate different technogenic conditions by changing the appropriate methods, as well as the values of the parameters of nodal objects.

Keywords: simulation model; groundwater; groundwater level; water intake.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка месторождений полезных ископаемых и функционирование горно-обогатительных предприятий приводит к загрязнению окружающей среды и образованию техногенных ландшафтов. Рассматриваемый район Старооскольско-Губкинского горнодобывающего узла характеризуется значительной техногенной нагрузкой на гидрогеологическую систему, так как на сравнительно небольшой территории располагаются два города (Губкин и Старый Оскол), а также поселок городского типа Чернянка. В совокупности число жителей на обозначенной площади составляет около 400 тысяч человек, что составляет 30% от всего населения Белгородской области. В Старооскольско-Губкинском районе выявлено 11 крупных месторождений железных руд, 4 из которых разрабатываются в настоящее время, что привело к интенсивному развитию горнодобывающей и металлургической промышленности. На рассматриваемой территории находятся также месторождения мела и глины, многие из них разрабатываются. На территории района располагается шахта им. Губкина и два карьера (Лебединский и Стойленский), два гидроотвала (Березовый Лог и Грачев Лог), два хвостохранилища (Лебединского и Стойленского ГОКов), многочисленные отвалы вскрышных и скальных пород. Переработка добытых руд производится на двух горно-обогатительных комбинатах Лебединском и Стойленском, и на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК). Обозначенные факторы оказывают сильное влияние на подземные воды рассматриваемого района. Дренажные работы и водоотбор подземных вод на водозаборах также оказывают значительное влияние на режим подземных вод.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Разработка месторождений полезных ископаемых и функционирование горно-обогатительных предприятий приводит к загрязнению окружающей среды и образованию техногенных ландшафтов. При работе ГОКов добывается огромное количество руды, которая после обогащения помещается в специальные хранилища – хвостохранилища. Хвостохранилища оказывают влияние на уровень и качественный состав подземных вод [1]. При проведении анализа влияния горнодобывающей промышленности на подземные воды был применен системный подход, в рамках которого была построена модель знаний о динамике уровня подземных вод [2].

На основании модели знаний о динамике распространения подземных вод в окрестностях Старооскольского и Губкинского горно-обогатительных комбинатов, описанной в работе [3, 4, 5], в качестве узловых объектов можно определить следующие виды техногенных сооружений:

1. Водозаборы, находящиеся на территории Старооскольского и Губкинского городского округа:

- 1) Ильинский водозабор.
- 2) Воротниковский водозабор.
- 3) Незнамовский водозабор.
- 4) Бор-Анпиловский водозабор.
- 5) Гуменский водозабор.
- 6) Водозабор севернойпромкомзоны.

- 7) Водозабор МУП «ОЖКХ».
- 8) Водозабор «Лебеди».
- 9) Водозабор п. Троицкий.
- 10) Водозабор «Теплый колодезь».
- 11) Водозабор «Парковый».
- 12) Водозабор «Городской парк».
- 13) Водозабор «Яр-Кучугуры».

2. Техногенные сооружения, относящиеся к инфраструктуре Стойленского и Лебединского горно-обогатительных комбинатов:

- 1) СГОК.
- 2) ЛГОК.
- 3) Хвостохранилище СГОКа.
- 4) Хвостохранилище ЛГОКа.

В качестве управляющих узловых объектов можно рассматривать:

- 1) Климатический фактор.
- 2) Забор воды.

Водозаборы, представленные в модели, обладают унифицированным функциональным алгоритмом. Рассмотрим их работу на примере Ильинского водозабора.

Увеличим водозабор из скважины № 5 Ильинского водозабора. Для этого изменим значение количества воды, откаченного за текущие сутки с $1\text{в}50\text{ м}^3/\text{сут}$ (то есть среднесуточный отбор) до $3330\text{ м}^3/\text{сут}$ (практически полное осушение). Рассмотрим изменения графиков количества и уровня воды в скважине при значительном увеличении количества забора воды.

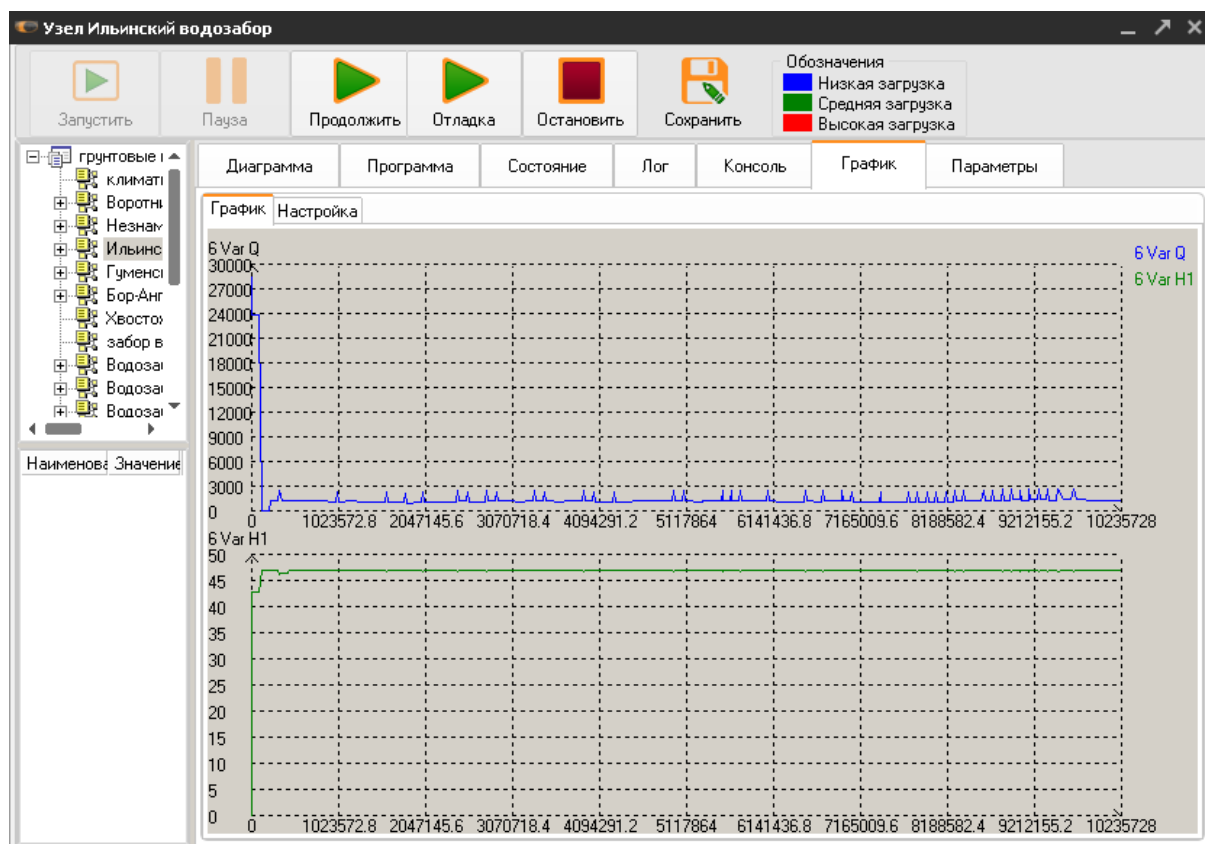


Рис. 1. График изменения уровня подземных вод в зависимости от увеличения количества откачиваемой воды

Fig. 1. Schedule of changes in the volume of groundwater depending on the amount of pumped water

Как видно из рисунка 1, на верхнем графике количество воды в скважине упало до минимальных значений, при этом на нижнем графике показано, что уровень воды упал (то есть расстояние уровня воды от поверхности земли стало больше).

Также увеличение количества откачиваемой воды из скважины №5 повлияло на уровень воды в соседних скважинах по направлению течения воды. На рисунке 2 отражено понижение уровня воды в соседних скважинах водозабора, о чем свидетельствуют индикаторы блоков, начиная со скважины №6.

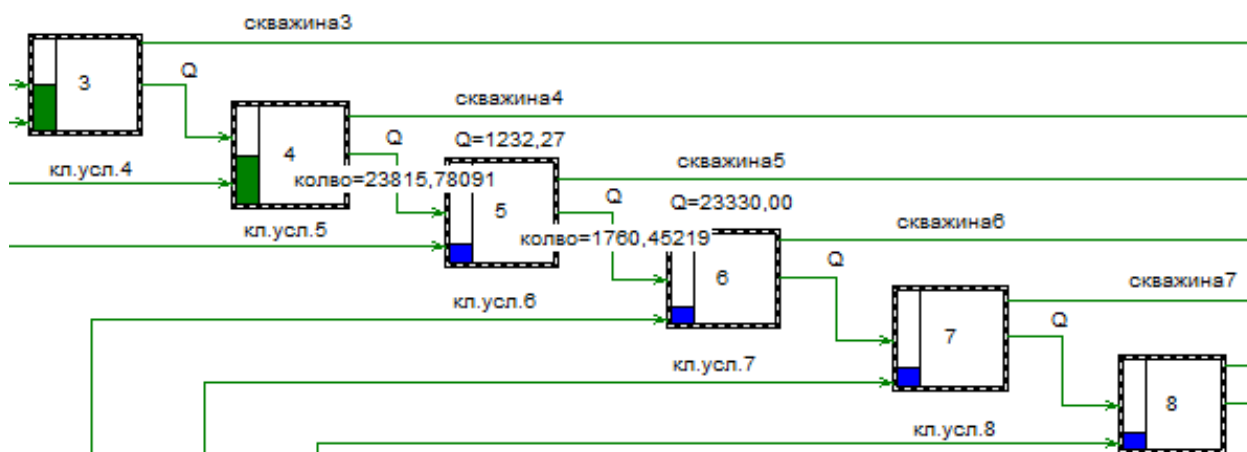


Рис. 2. Изменение уровня подземных вод в соседних скважинах при увеличении количества откачиваемой воды

Fig. 2. The change of groundwater level in neighboring wells by increasing the amount of pumped water

Таким образом, увеличение забора воды в одной из скважин водозабора приводит к осушению скважин водозабора, находящихся по направлению течения воды [6, 7, 8].

Рассмотрим имитацию процесса водозабора через дренажную систему ГОКов. Для этого запустим модель с масштабом времени: 1 секунда реального времени равна 1 суткам модельного времени.

На рисунке 3 показан процесс забора подземных вод из всех водоносных слоев, затронутых при разработке ГОКов. Прямоугольные индикаторы на блоках ГОКов показывают количество забираемой воды на нужды города, остаточное количество воды используется ГОКаами в процессе функционирования. Количество забираемой воды в сутки отражено через связи «забор9» и «забор10» и параметр «Q» (позволяет рассчитать суточный объем воды, откачиваемый из скважины в кубических метрах), при этом общий забор воды на нужды Старооскольского и Губкинского городского округа вычисляется в узловом объекте «забор воды». Прямоугольный индикатор блока «забор воды» отражает долю от максимально возможного забора воды в сутки. Также на рисунке 3 отражено взаимодействие ГОКов со смежными хвостохранилищами. Через связь «Q» и параметр «колво» имитируется подача пульпы в хвостохранилище.

На рисунке 4 отражены графики количества забираемой воды на городские нужды в сутки. Верхний график показывает количество забираемой воды из СГОКа, нижний – из ЛГОКа.

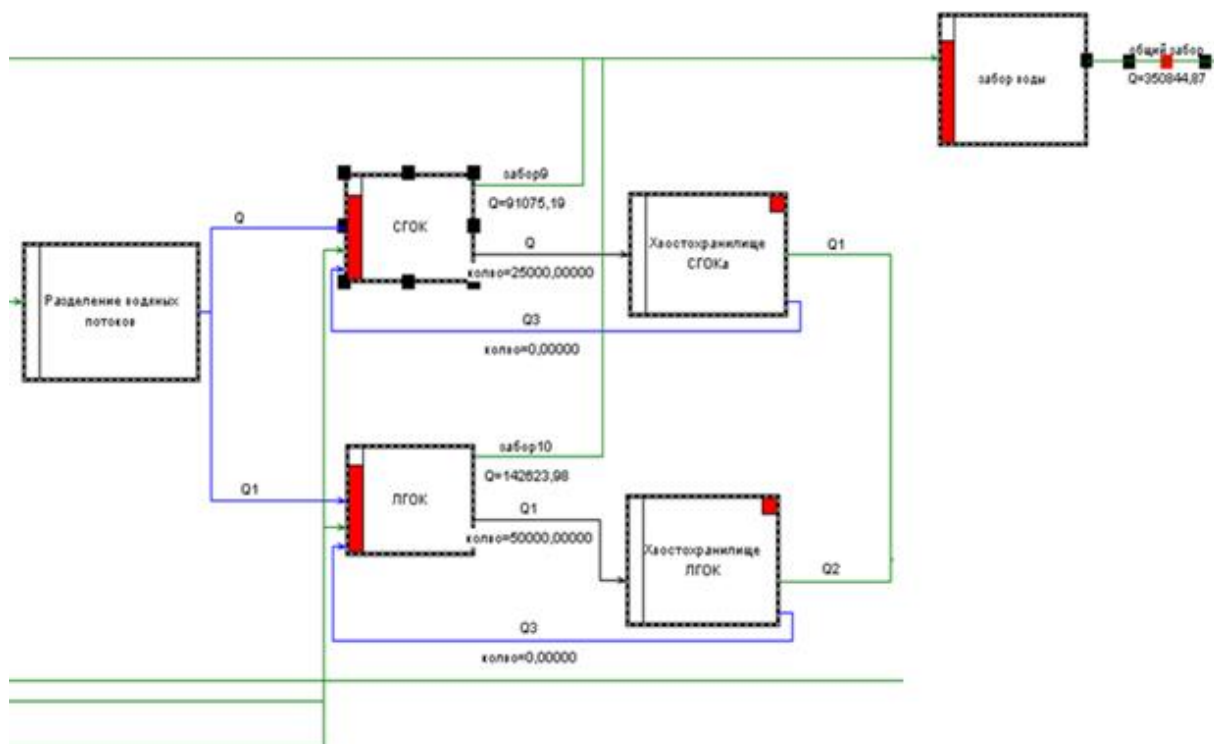


Рис. 3. Функционирование дренажных систем ГОКов и транспортировка пульпы в хвостохранилище

Fig. 3. Functioning of the drainage system of mining and transportation of the pulp to the tailing

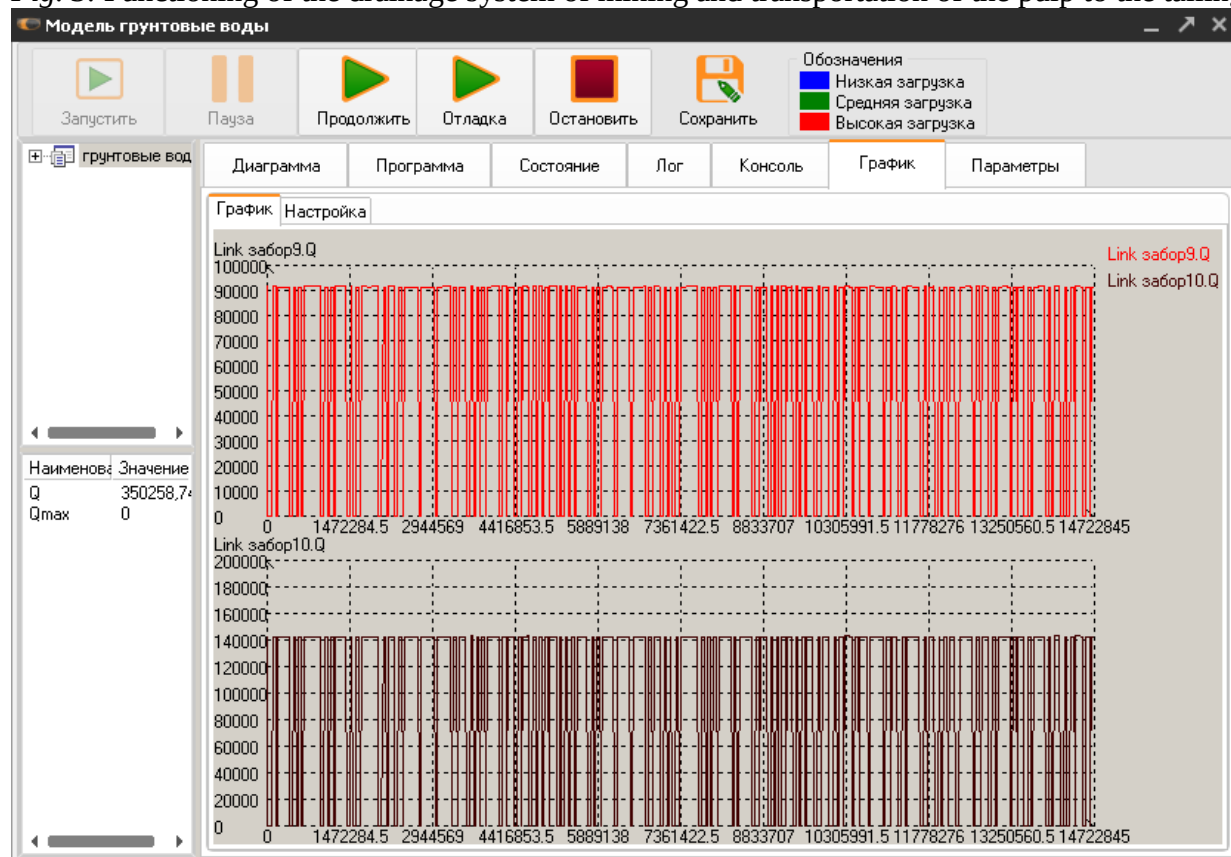


Рис. 4. Объем забираемой воды из ГОКов на нужды городских округов

Fig. 4. The volume of water withdrawn from mining to the needs of urban districts

Из приведенных выше графиков следует, что количество забираемой воды через дренажную систему СГОКа составляет примерно 90000 м/сут, а через систему ЛГОКа – примерно 140000 м/сут.

На рисунке 5 демонстрируется совокупный забор воды в сутки на территории Старооскольского и Губкинского городского округа.

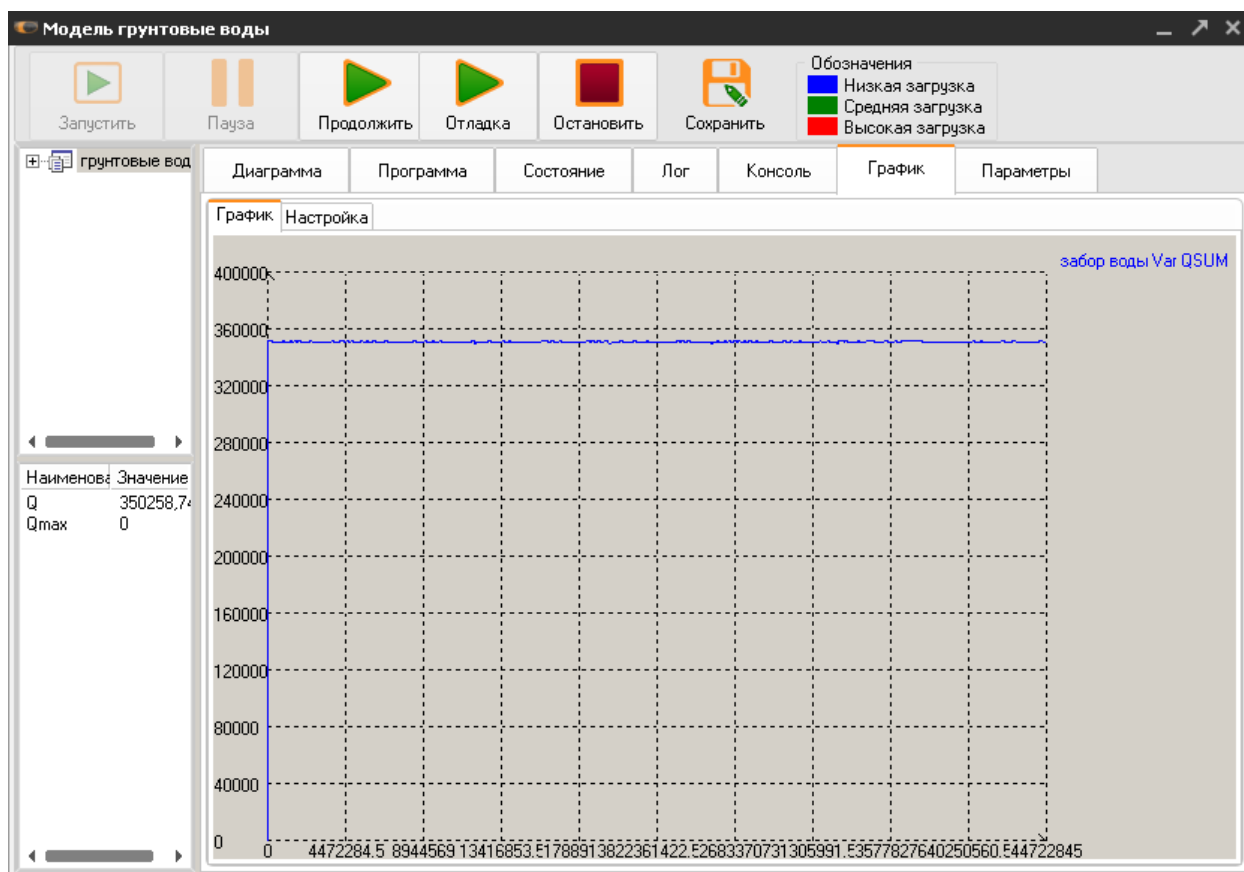


Рис. 5. Общее количество забираемой воды на нужды городских округов

Fig. 5. The total water withdrawal for the needs of urban districts

Из представленного графика следует, что количество забираемой воды на нужды Старооскольского и Губкинского городского округа приходится примерно 360000 м/сут.

Таким образом, изменение толщины защитной стенки хвостохранилища, а также использование эффективных материалов для изоляции хвостов, напрямую влияет на объем и скорость протекающей сквозь защитную стенку загрязненной воды [9, 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модель отражает сезонные колебания уровня подземных вод. Наличие встроенного языка описания функциональных узлов делает модель очень гибкой в использовании. При проведении экспериментов можно имитировать различные техногенные условия путем изменения соответствующих методов, а также значений показателей узловых объектов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00451.

Список литературы

1. Горбачев И.В. Влияние хвостохранилищ Алтайского горнообогатительного комбината на окружающую среду / И.В. Горбачев, С.В. Бабошкина // Ползуновский вестник – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2005, № 4-2. – С.179-182.
2. Черноморец А.А. О математических моделях анализа состояния подземных вод горнодобывающего узла / А.А. Черноморец, Е.В. Болгова, М.А. Петина // Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов Международной научно-практической конференции (21-22 января 2016 года). Том II. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016. – С. 275-278.
3. Жихарев А.Г., Егоров И.А., Маторин С.И., Болгова Е.В., Петина М.А. Метод извлечения знаний об особенностях распространения подземных вод на основе системно-объектного подхода. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 2017. Вып. 43. № 16(265). С. 160-169.
4. Черноморец А.А., Болгова Е.В., Жихарев А.Г. Применение модели знаний о динамике распространения подземных вод. Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт: международная научно-практическая заочная конференция (29 сентября 2017 г., г. Белгород): сборник статей. – Белгород: Изд-во ООО «ГиК», 2017. – С. 27-31.
5. Черноморец А.А. О применении имитационной модели распространения подземных вод в горно-промышленном районе / А.А. Черноморец, А.Г. Жихарев, А.Н. Коваленко // Совершенствование методологии познания в целях развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (28 октября 2017 г.). Ч.2 – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 23-26
6. Черноморец А.А. Графоаналитическая модель динамики распространения подземных вод / А.А. Черноморец, М.А. Петина, А.Н. Коваленко, Н.О. Зайцева // Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. – 2017. – № 2 (251). – Вып. 41. – С. 75-80.
7. Черноморец А.А. О приобретении знаний о свойствах подземных вод/ А.А. Черноморец, Е.В. Болгова, А.Г. Жихарев // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт: международная научно-практическая заочная конференция (26 мая 2017 г., г. Белгород): сборник статей. – Белгород: Изд-во ООО «ГиК», 2017. – С. 29-32.
8. Черноморец А.А. Исчисление функциональных объектов как метод извлечения знаний об особенностях распространения подземных вод / А.А. Черноморец, И.А. Егоров, А.Г. Жихарев, Е.В. Болгова // Современные тенденции развития науки и производства: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции (5 июля 2017 г.). Том II. – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017. – С. 81-83.
9. Зайцева Н.О. Влияние гонодобывающей промышленности на состояние подземных вод / Н.О. Зайцева, А.А. Черноморец // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее: сборник статей X Международной научно-практической конференции (10 июня 2017 г.). Ч.3 – Пенза: МЦНС "Наука и просвещение", 2017. – С. 60-62.
10. Зайцева Н.О. О разработке алгоритма метода узлового объекта в терминах языка описания функциональных объектов / Н.О. Зайцева, А.А. Черноморец, А.Г. Жихарев // OPEN INNOVATION: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч.1 – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. – С.91-95.

References

1. Gorbachev I.V. The influence of the tailings of Altai ore processing plant on the environment / I.V. Gorbachev, S.V. Babushkina // Polzunovskii Herald – Barnaul: Publishing house Alt. state tech. University, 2005, № 4-2. – P. 179-182.
2. Chernomorets A.A. On mathematical models of analysis of underground waters of the mining site / A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, M.A. Petina // Modern trends in the development of science and production: proceedings Of the international scientific – practical conference (21-22 January 2016). Volume II. – Kemerovo: ZapSib, 2016. – P. 275-278.
3. Zhiharev A.G., Egorov A.I., Matorin S.I., Bolgova E.V., Petina M.A. A method of extracting knowledge about the features of distribution of groundwater on the basis of system-object approach. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies. 2017. Vol. 43. No. 16(265). P. 160-169.
4. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., Zhikharev A.G. Application of the model of knowledge about the dynamics of groundwater distribution. Science and education: domestic and foreign experience: international

scientific and practical correspondence conference (September 29, 2017, Belgorod): collection of articles. – Belgorod: Publishing house ООО "Gik", 2017. – P. 27-31.

5. Chernomorets A.A. On the application of a simulation model of groundwater occurrence in mining and industrial area / A.A. Chernomorets, A.G. Zhikharev, A.N. Kovalenko. Improvement of methodology of knowledge in the development of science: collected papers of International scientific-practical conference (October 28, 2017). Part 2 – Ufa: AETERNA, 2017. – P. 23-26

6. Chernomorets A.A. Graphic-analytical model of the dynamics of the groundwater occurrence / A.A. Chernomorets, M.A. Petina, A.N. Kovalenko, N.O. Zaitseva // Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies. – 2017. – No. 2(251). – Vol. 41. – P. 75-80.

7. Chernomorets A.A. On the acquisition of knowledge about the properties of groundwater / A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, A.G. Zhikharev // Science and education: national and international experience: international scientific and practical correspondence conference (may 26, 2017, Belgorod): collection of articles. – Belgorod: Publishing house ООО "Gik", 2017. – P. 29-32.

8. Chernomorets A.A. Calculus of functional objects as a method of extracting knowledge about the peculiarities of groundwater occurrence / A.A. Chernomorets, A.I. Egorov, A.G. Zhikharev, E.V. Bolgova // Modern trends in science and industry: proceedings of the VI International scientific-practical conference (5 July 2017). Volume II. – Kemerovo: ZapSib, 2017. – P. 81-83.

9. Zaitseva N.O. Influence of the mining industry on the state of groundwater / N.O. Zaitseva, A.A. Chernomorets // Science and education: preserving the past, creating the future: a collection of articles X International scientific-practical conference (June 10, 2017). Part 3-Penza: ICSU "Science and education", 2017. – P. 60-62.

10. Zaitseva N.O. On the development of the algorithm a node object in terms of the language of the description of functional objects / N.O. Zaitseva, A.A. Chernomorets, A.G. Zhikharev // OPEN INNOVATION: a collection of articles of International scientific-practical conference. On 2 Parts, Part 1 – Penza: CNS "Science and Education", 2017. – P. 91-95.

Петина Мария Александровна, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат географических наук

Егоров Илья Александрович, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Коваленко Анастасия Николаевна, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Решетникова Лидия Константиновна, начальник Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

Petina Mariya Aleksandrovna, associate professor at the Department of Applied Informatics and Information Technologies, candidate of geographical sciences

Egorov Ilya Aleksandrovich, PhD student at the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Kovalenko Anastasia Nikolaevna, senior lecturer at the Department of Applied Informatics and Information Technologies

Reshetnikova Lydia Konstantinovna, head of the Belgorod center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

УДК 004.023

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-11-18

Ломакин В.В.¹
Михайлова С.В.²
Белоконь Ю.Ю.²

**ПОСТРОЕНИЕ ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ ПРОФИЛЯ
КОМПЕТЕНТНОСТИ СОТРУДНИКОВ IT-ФИРМЫ ПРИ ПОМОЩИ
РЕДАКТОРА ОНТОЛОГИЙ PROTÉGÉ**

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

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

e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, Mihajlova_SV@sciener.ru, Belokon_UU@sciener.ru

Аннотация

В работе описываются особенности использования онтологий, как формального описания предметных областей. Выделяются основные этапы создания онтологий, способы их представления, описывается процесс выделения классов, их свойств и отношений между ними. Особое внимание уделяется электронным онтологическим моделям, рассматриваются программные решения, используемые для их построения. Детально описывается работа в редакторе онтологий Protege и процесс создания онтологической модели при построении формального описания профиля компетентности сотрудников IT-фирмы. Основными задачами модели данной предметной области, являются: консолидация информации о наличии компетенций фирмы, предоставление информации о модели компетенций, предоставление данных об уровне текущих компетенций сотрудников, классификация компетенций, а также поиск сотрудника по требуемой компетенции. В дальнейшем такая онтологическая модель может быть использована для построения базы знаний, либо в сочетании с математическими моделями для решения задач оптимизации и поддержки принятия решений.

Ключевые слова: онтология; онтологическая модель; база знаний; редактор онтологий Protege.

UDC 004.023

Lomakin V.V.¹
Mihajlova S.V.²
Belokon Yu.Yu.²

**CREATION OF A FORMAL DESCRIPTION OF THE COMPETENCE
PROFILE OF IT-COMPANY EMPLOYEES WITH THE HELP
OF THE ONTOLOGY EDITOR PROTEGE**

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

²⁾ SCIENER, 36D Harkovskij pereulok, Belgorod, 308000, Russia

e-mail: lomakin@bsu.edu.ru, Mihajlova_SV@sciener.ru, Belokon_UU@sciener.ru

Abstract

The article describes the features of using ontologies, as a formal description of subject areas. The main stages of creating ontologies, methods from the presentation are outlined, the process of selecting classes, their properties and relations between them is described. Particular attention is paid to electronic ontological models, software solutions used to construct them are considered. The work in the ontology editor Protege and the process of creating the ontological model in the process of constructing a formal description of the competence profile of the IT company

employees are described in detail. The main tasks of the model of this subject area are: consolidation of information on the presence of the competences of the firm, providing information on the competence model, providing data on the level of the current competences of employees, classification of competencies, and also searching for the employee in the required competence. In the future, such an ontological model can be used to build a knowledge base, or in combination with mathematical models for solving optimization and decision support problems.

Keywords: ontology; ontological model; knowledge base; ontology editor Protege.

В последние годы популярным инструментом экспертов в различных предметных областях являются онтологические модели, предполагающие формальное описание терминов предметной области и отношений между ними. Онтологическая модель (далее – онтология) является концептуализированным представлением информации в электронном виде о какой-либо области реальности [1].

Использование онтологических моделей особенно актуально, когда возникает необходимость достижения общего понимания структуры информации широким кругом людей или программными агентами. Кроме того, это крайне полезный инструмент при постоянной необходимости повторного использования знаний и анализа предметной области. Онтология в совокупности с оригинальным набором экземпляров классов образует базу знаний [3]. Возможность иметь более одного значения для каждого свойства – одно из отличий семантической информационной модели от реляционной.

Формальная онтологическая модель задается множеством [9]:

$$O = \{C, R, A\}, \quad (1)$$

где O – онтология,

C – совокупность классов предметной области,

R – совокупность отношений между ними,

A – набор аксиом (законов и правил, которые описывают законы и принципы существования классов).

Единого подхода к созданию онтологий, который бы привел к однозначно успешному результату не существует. Процесс создания онтологий обычно является итеративным, т.е. по мере необходимости происходит возврат для определения деталей, пока онтология не будет отражать концепцию максимально универсально и информативно в рамках ее предназначения [5].

Выделяют следующие основные этапы создания онтологий:

- декомпозиция – выделение сущностей предметной области, участвующих в модели;
- классификация – создание классов, соответствующих группам сущностей. Построение иерархии классов, включение сущностей в классы или подклассы;
- описание свойств – определение слотов и их допустимых значений;
- создание отношений – присвоение значений свойствам, создание связей.

Для определения классов онтологии обычно проводится предварительный анализ заданной предметной области. В процессе исследования, составляется систематизированное представление знаний о предметной области, понимании сути происходящих в ней процессов, правил и ограничений. При исследовании обязательно составляется и документируется глоссарий терминов (понятий). В случае, если в глоссарии будет отсутствовать определение для некоторого понятия, разработчик онтологии предметной области будет вынужден сам определить функцию интерпретации для этого понятия. В результате должен быть получен полный список существенных для заданной предметной области понятий и их формальные формулировки [6].

Чаще всего результат анализа представляют в виде построенного графа (двудольного графа, где вершины – это понятия предметной области, дуги – связи между ними). Затем осуществляется проектирование графа предметной области и составление его формализованного описания.

В электронном виде формальное описание и представление концептуализированной информации осуществляется при помощи семантические технологий [2]. Они позволяют передавать содержащуюся в онтологических моделях информацию и автоматически обрабатывать ее, в том числе – получать логические выводы на основании правил.

Базисным способом выражения информации, представленной в онтологических моделях, является триплет – синтаксическая структура, состоящая из трех элементов: субъект, предикат и объект (рисунок 1). Набор триплетов называется RDF – графом. По смыслу вершины триплета являются сущностью (подлежащее), объектом (дополнением к подлежащему), ребром (сказуемое).

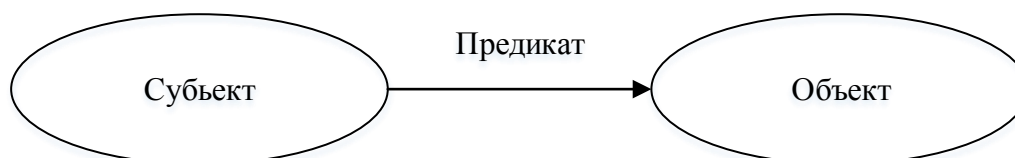


Рис. 1. Триплет семантической модели «Субъект-предикат-объект»

Fig. 1. Triplet of the semantic model "Subject-predicate-object"

Для создания онтологий на сегодня разработаны и используются специальные инструментарии. В большинстве своем современные редакторы онтологий представляют собой средства описания формальной модели предметной области, а также дают дополнительные возможности по анализу онтологии, используют механизм логического вывода. Формат представления онтологий задает вид хранения и способ передачи онтологических описаний. Под форматами подразумеваются языки представления онтологий: RDF, OWL, KIF, SCL. В последнее время количество общедоступных редакторов онтологий растет, на текущий момент известно более 100 программных решений. Наиболее популярными редакторами являются Protégé, Ontolingua, WebOnto и пр. [7].

Protégé является наиболее популярным свободно распространяемым редактором онтологий, разработанный Стэнфордским университетом, к которому в виде плагинов можно подключать средства визуализации, построения запросов к онтологии, получения выводов. Он поддерживает стандарты OWL и RDF. Protégé поддерживает стандарт SPARQL, описывающий программный интерфейс и синтаксис запросов к онтологическим моделям, а также стандарты для записи семантических моделей, основными из которых являются RDF, RDFS и OWL. Стандартами предусмотрены разные синтаксисы, позволяющие сохранять OWL или RDF/RDFS в файл [1].

С использованием данного редактора создадим онтологию, для описания предметной области по компетенциям сотрудников фирмы, оказывающей консалтинговые услуги по реализации ИТ проектов на базе программного обеспечения SAP ERP.

К задачам, которые должны обеспечивать подобные онтологии относятся:

- консолидация информации о наличии компетенций фирмы;
- предоставление информации о модели компетенций;
- предоставление данных об уровне текущих компетенций сотрудников;
- классификация компетенций;
- поиск сотрудника по требуемой компетенции.

Онтология в Protégé состоит из следующих элементов:

- Class/SubClass Классы и подклассы. Классы соответствуют объектам или типам объектов, в некой предметной области. Классы и подклассы в Protégé отображаются в виде иерархии наследования.

- Data property – атрибуты классов, основанные на элементарных типах данных (строка, число, дата и пр.)

- Object property – свойства-указатели на объекты.

- Individual – индивидуальный экземпляр класса с именем Name. Онтология вместе с набором индивидуальных экземпляров образует базу знаний предметной области. На данном этапе мы затрагиваем вопрос построения структуры онтологии, поэтому элементы Individuals в статье не рассматриваются.
 - Domain – это класс, к экземплярам которого применимо данное свойство. Указывает экземплярам каких классов присуще это свойство.
 - Range – это тип значений, которые свойство может принимать. Определяет тип принимаемого значения.
 - Type – тип данных [10].
- Любую модель онтологии можно изобразить в виде графа [1].

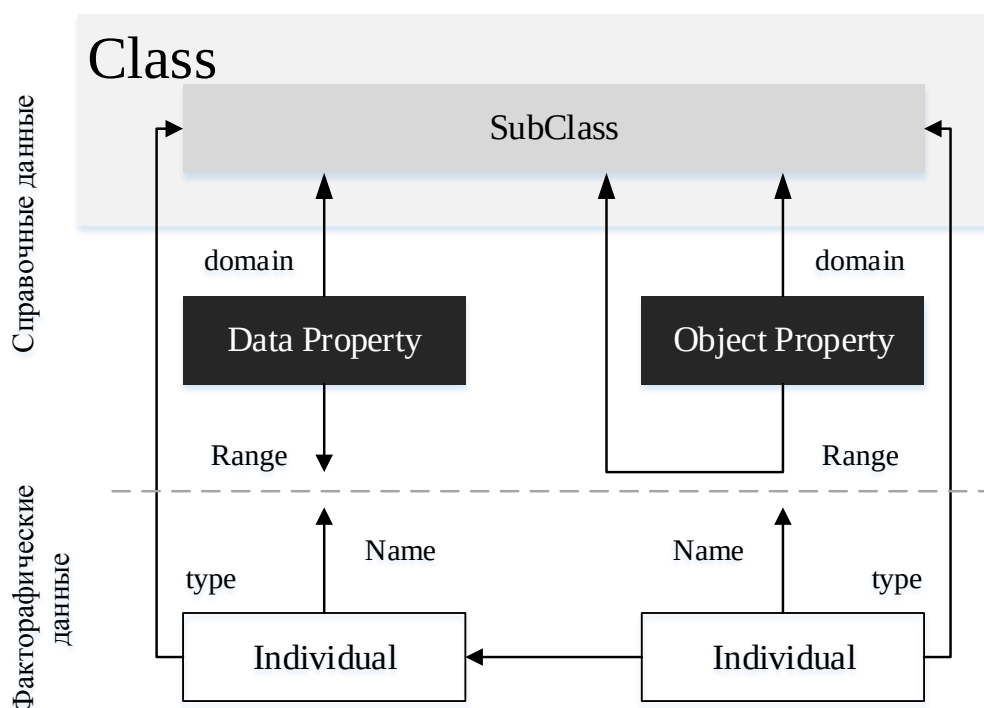


Рис. 2. Пример графического представления семантической модели в онтологии
Fig. 2. An example of a graphical representation of a semantic model in an ontology

Верхняя часть рисунка содержит справочные данные, которые описывают структуру информации. Нижняя часть, соответствует наполнению модели, это - фактографические данные.

Такое представление семантической модели определяет способ построения запросов к ней, реализованный в языке SPARQL. SPARQL - наиболее популярный среди языков запросов к хранилищам онтологий. Чтобы получить список всех экземпляров класса, нужно выполнить следующий запрос:

```
SELECT * WHERE {?class rdfs:type <http://название онтологии/#Class>}.
```

С помощью программы Protégé создаем классы для основных объектов предметной области «Персонал» и «Профиль компетенции».

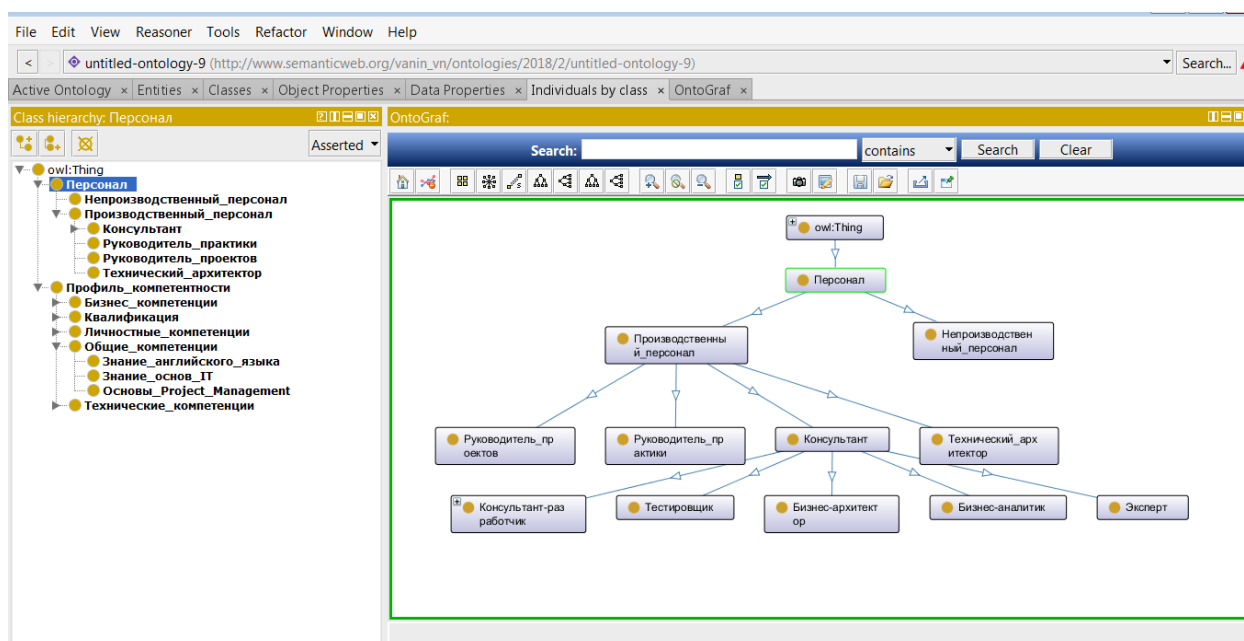


Рис. 3. Графическое представление иерархии класса «Персонал» в программе Protégé
Fig. 3. Graphic representation of the hierarchy of the Personnel class in the program Protégé

Класс «Персонал» содержит справочник должностей фирмы. Класс представляет собой Фрэйм и содержит ряд атрибутов (слотов), относящихся к данному классу.

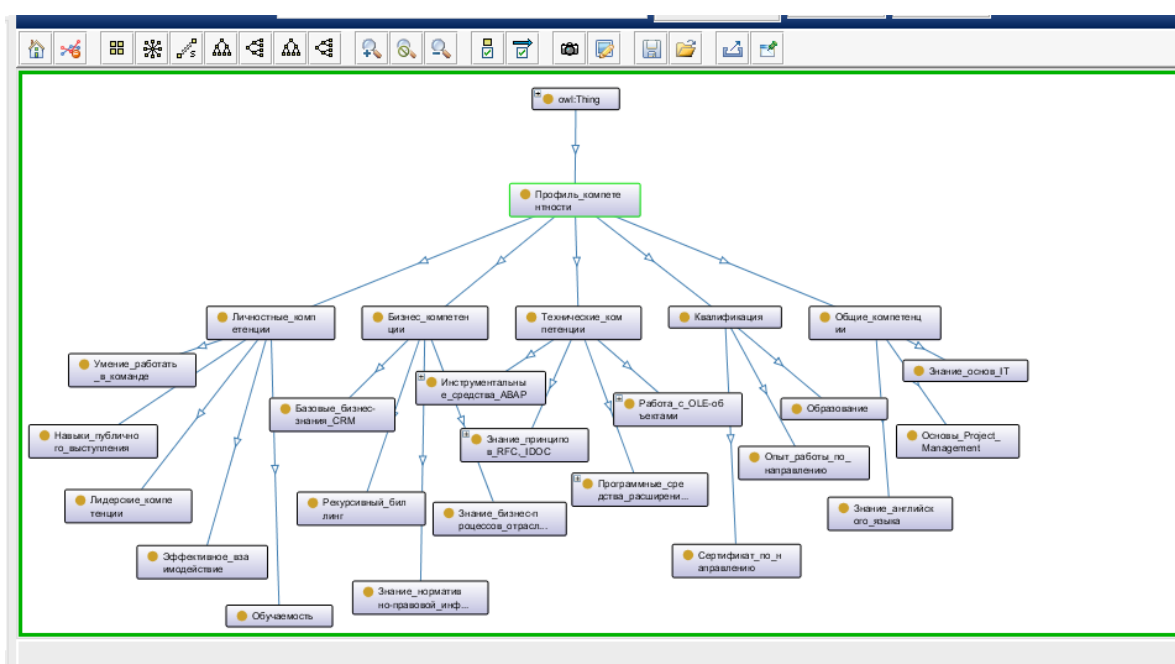


Рис. 4. Графическое представление иерархии класса «Профиль компетентности»
в программе Protégé

Fig. 4. Graphic representation of the hierarchy of the "Competence profile" class in the program Protégé

Класс «Профиль компетентности» содержит полный перечень компетенций, необходимый компании для обеспечения выполнения производственной деятельности.

Завершающим этапом создания текущей онтологии является назначение отношений между конечными подклассами иерархии классов с помощью определения свойств объектов. Для данной предметной области определены два вида отношений «Должен иметь» и «Желательно иметь».

Например, один из триплетов данной онтологии может быть представлен в следующем виде [8]:

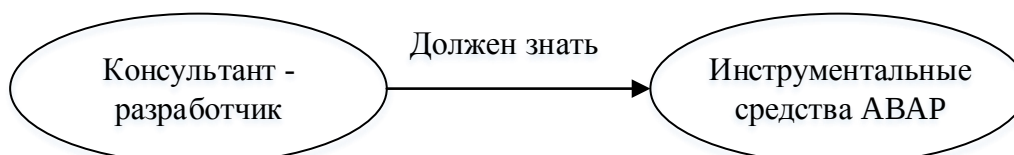


Рис. 5. Пример триплета создаваемой онтологии
Fig. 5. Example of a triplet of the created ontology

Плагин OntoGraf для программы Protégé позволяет отобразить построенную онтологию в графическом виде.

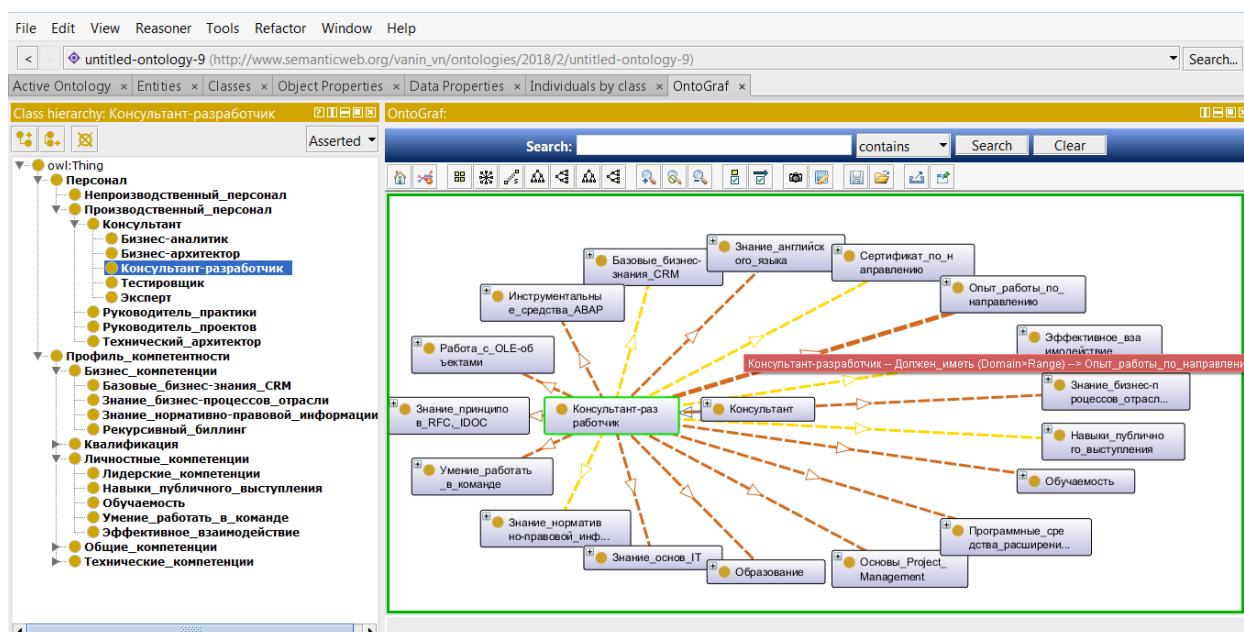


Рис. 6. Фрагмент графического отображения онтологии в программе Protégé
Fig. 6. Fragment of the graphical display of the ontology in the program Protégé

Корректно построенная модель не принесет пользы без адекватной программной реализации, так же как ни одна безупречно спроектированная ИТ-система не принесет пользы без четкого понимания целей и способа применения получаемых результатов, которые могут быть детально проработаны на этапе создания онтологии предметной области [1].

Одним из направлений применения онтологий, является организация знаний и поддержка процессов принятия решений, а также используется для решения оптимизационных задач [4]. Как правило, они сводятся к составлению оптимальной с экономической точки зрения программы действий в какой-либо сфере. Для решения оптимизационных задач используется сочетание семантических моделей онтологий и заданных математических моделей. Онтология используется для того, чтобы отразить полный набор атрибутов и связей элементов моделируемой системы. На этой модели проводятся логические и математические вычисления, которые позволяют найти оптимальное решение.

Разработанная онтология является основой для дальнейшего построения базы знаний фирмы. Для этого полученная структура наполняется экземплярами классов, может быть расширена новыми классами и связями. Далее онтология может быть использована в сочетании с разработанными математическими моделями для решения задач оптимизации и поддержки принятия решений. Например, «оцифровав» все объекты онтологии, а также имея информацию о коэффициентах значимости каждого звена, возможно выполнить расчет уровня компетентности индивидуального сотрудника.

Список литературы

1. Горшков С. Введение в онтологическое моделирование // М.: ООО «ТриниДата», 2016. 165 с.
2. Добров Б.В., Лукашевич Н.В. Вторичное использование лингвистических онтологий: изменение в структуре концептуализации // URL: http://www.rcdl2006.uniyar.ac.ru/papers/paper_78_v1.pdf (дата обращения: 23.03.2018)
3. Лапшин В.А. Онтологии в компьютерных системах // М.: Научный мир, 2010. 224 с.
4. Асадуллаев Р.Г. Модели и средства поддержки принятия решений в системах переподготовки кадров предприятия / Р.Г. Асадуллаев, В.В. Ломакин, Ю.Ю. Белоконь, Т.В. Зайцева, О.С. Резниченко // Научные ведомости БелГУ. Серия: Экономика. Информатика. 2017. Т. 44. № 23(272). С. 148-158.
5. Муромцев Д.И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé // СПб: СПб ГУ ИТМО, 2007. 62 с.
6. Палагин А.В., Петренко Н.Г., Малахов К.С. Методика проектирования онтологии предметной области // Компьютерные средства, сети и системы. 2011. № 10. С. 5-12.
7. Слободюк А.А. О подходе к созданию онтологий на основе системно-объектных моделей предметной области / А.А. Слободюк, С.И. Маторин, С.Н. Четвериков // Научные ведомости БелГУ. История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. № 22(165). Выпуск № 28/1. С.186-195.
8. Добров Б.В. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения: учебное пособие / Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич, В.Д. Соловьев // М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 173 с.
9. Онтологическая модель представления знаний // Сайт факультета ВолгТУ. URL:http://fevt.ru/load/ontologicheskaja_model_znaniy/124-1-0-1732, (дата обращения: 23.03.2018)
10. Официальный сайт Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/> (дата обращения: 23.03.2018)

References

1. Gorshkov S. Introduction to ontological modeling // M.: ООО "TriniData", 2016. 165 p.
2. Dobrov B.V., Lukashevich N.V. Secondary use of linguistic ontologies: a change in the structure of conceptualization // URL: http://www.rcdl2006.uniyar.ac.ru/papers/paper_78_v1.pdf (accessed: 23.03.2018)
3. Lapshin V.A. Ontology in computer systems // M.: Nauchnyj mir, 2010. 224 p.
4. Asadullaev R.G. Models and means of decision-making support in the retraining systems of enterprise personnel / R.G. Asadullaev, V.V. Lomakin, Yu.Yu Belokon., T.V. Zaitseva, O.S. Reznichenko // Scientific statements of BelSU. Series: The Economy. Computer science. 2017. P. 44. No. 23(272). Pp. 148-158.
5. Muromtsev D.I. Ontological knowledge engineering in the Protégé system // SPb: SPb GU ITMO, 2007. 62 pp.
6. Palagin A.V., Petrenko N.G., Malakhov K.S. The method of designing the domain ontology // Computer tools, networks and systems. 2011. № 10. С. 5-12.
7. Slobodyuk A.A. On the approach to the creation of ontologies on the basis of system-object models of the subject domain / A.A. Slobodyuk, S.I. Matorin, S.N. Chetverikov // Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies. 2013. No. 22(165). Issue number 28/1. P. 186-195
8. Ontologies and thesauri: models, tools, applications: manual / Dobrov B.V., Ivanov V.V., Lukashevich N.V., Soloviev V.D. // Moscow: Internet University of Information Technologies; BINOMIAL. Laboratory of Knowledge, 2013. 173 pp.
9. Ontological model of representation of knowledge / The site of the VolgTU faculty. URL: http://fevt.ru/load/ontologicheskaja_model_znaniy/124-1-0-1732, (accessed: 03/23/2018)
10. Official website of Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/> (accessed: 03/23/2018)

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

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

Белоконь Юлия Юрьевна, консультант практики решений для энергетики ООО «Сайнер»

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

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

Belokon Yuliya Yurievna, consultant of the practice of solutions for the energy of LLC "Sciener"

УДК 004.031.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-19-24

**Бестаева Н.В.
Султангалиева Дж.К.
Зубова А.Д.****ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СФЕРЕ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», ул. Татищева д. 16, г. Астрахань, 414056, Россия

e-mail: astu@astu.org

Аннотация

В статье представлен обзор существующих систем мониторинга, применяемых в сельском хозяйстве, при использовании передовых технологий, таких как малогабаритные беспилотные летающие аппараты. Произведен анализ сельскохозяйственных отчетов за последний год о степени нанесенного ущерба саранчовыми на юге и средней полосе России, в Северной Африке, в Японии и в Казахстане. Рассмотрены основные системы мониторинга состояния растений, наличия пожаров, появления на плантациях диких животных и вредоносных насекомых. В том числе описана автономная система по выращиванию культурных растений. Также описаны системы спутникового мониторинга в Африке и в Западной Сибири для прогнозирования появления вредителей на посевных полях, основанные на сборе данных о влажности атмосферы в исследуемых районах. Рассмотрены основные способы борьбы с вредителями на 2017 год и их целесообразность. Представлен анализ рынка беспилотных аппаратов на 2017 год и составлен прогноз его дальнейшего развития в сфере сельского хозяйства.

Ключевые слова: система; мониторинг; дрон; спутник; сельское хозяйство.

UDC 004.031.2

**Bestaeva N.V.
Sultangalieva Dj.K.
Zubova A.D.****THE RESEARCH OF MONITORING SYSTEM
IN AGRICULTURAL SPHERE**

Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva St., Astrakhan ,414056, Russia

e-mail: astu@astu.org

Abstract

The review of the existing systems of monitoring applied in agriculture with using advanced technologies, such as the small-sized pilotless flying devices is presented in article. The analysis of agricultural reports for the last year on degree of the caused damage locust in South and midland of Russia, in North Africa, in Japan and in Kazakhstan. The main systems of monitoring of a condition of plants, existence of the fires, emergence on plantations of wild animals and harmful insects are considered. Including the autonomous system on cultivation of cultural plants is described. The systems of satellite monitoring in Africa and in Western Siberia for forecasting of appearance of wreckers on sowing fields, the atmospheres based on collection of data on humidity in the explored areas are also described. The main ways of pest control for 2017 a goal and their expediency are considered. The analysis of the market of pilotless devices for 2017 is submitted and the forecast of his further development in the sphere of agriculture is made.

Keywords: system; monitoring; drone; satellite; agriculture.

ВВЕДЕНИЕ

В наши дни системы мониторинга получают все большую популярность, поскольку позволяют сделать наиболее точные прогнозы благодаря сбору и анализу данных. Они уже

используются в таких направлениях, как: обнаружение пожаров, наблюдение за созреванием посевов, защита земель от диких животных и насекомых и т.д. [1].

Наиболее актуальной является проблема мониторинга различных стадных вредителей, поскольку они регулярно наносят значительный ущерб фермерам. Самыми распространенными вредителями в сельском хозяйстве являются колорадский картофельный жук и саранча всех видов. В основном саранча питается посевами злаковых культур. Ее также можно встретить на полях льна, гречихи, огородных овощей и конопли. Колорадский жук, в отличие от саранчовых, питается клубнями картофеля. По статистическим данным, основными очагами являются юг и частично средняя полоса России, Казахстан, Япония и Северная Африка [2, 5].

Только в России по данным представленным Россельхозцентром в 2017 году личинки вредителя были отмечены на площади — 15,46 тыс. га.

По предварительным данным Россельхозцентра в результате их контрольного весенне-летнего обследования со второй декады марта 2017 года перезимовка яиц в кубышках в среднем по области составила 80 %. Что свидетельствует о стойкости личинок вредителей к экстремальным условиям.

Также Россельхозцентром проведены обследовательские мероприятия по области на площади 14,38 тыс. га, где заселенная площадь составила – 1,57 тыс. га: итальянским прусом по области заселено 0,63 тыс. га с численностью 0,1-1 куб/м²; азиатской саранчой по области заселено 0,45 тыс. га с численностью 0,2-1 куб/м²; нестадными саранчовыми по области заселено 0,49 тыс. га с численностью 0,14-2 куб/м².

Таким образом, можно сделать вывод о безусловной необходимости мониторинга посевных земель на наличие личинок вредителей с целью предотвращения уничтожения посевов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Сельскохозяйственная сфера имеет огромный потенциал для внедрения IT-технологий.

Уже сейчас активно используются такие системы, как:

1. Технологический комплекс обнаружения и тушения пожаров при использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1].

2. Система мониторинга для защиты посевных полей от диких животных. Эта система основана на использовании БПЛА и была впервые задействована в Японии для помощи фермерам в защите своих угодий. В этой системе используются такие аппаратные средства, как:

1. Квадрокоптер;
2. Камера с ИК-датчиком;
3. Система с искусственным интеллектом.

Дрон, облетая подконтрольную территорию, будет выявлять приближающихся к полям животных и отпугивать их с помощью высокочастотного сигнала или звуков разрыва петард. Камера с инфракрасным датчиком позволит дрону отследить животных как в дневное время, так и в ночное.

Кроме того, система на основе искусственного интеллекта будет анализировать снятые квадрокоптером материалы, чтобы на основе повадок и следов животных прогнозировать их поведение [2].

3. Система наблюдения за процессом созревания культурных растений на посевных полях.

Благодаря камерам с инфракрасными датчиками фермеры могут следить за уровнем хлорофилла в растениях. Его уменьшение является первым признаком наличия вредителей или плохого ухода [7].

4. Автоматизированная ферма Hand Free Hectare (Великобритания).

Автономная система, которая занимается посевом, поливом и сбором урожая. Она подразумевает управление операторами из диспетчерской. Дроны со встроенными мультиспектральными датчиками производят съемку угодий. Небольшие сельскохозяйственные

машины берут образцы земли, оценивают ее и подбирают необходимые минеральные удобрения. Камеры в режиме реального времени оповещают о вредителях или сорняках.

В России предлагаются системы с использованием БПЛА в целях мониторинга состояния техники и посевов, инвентаризации сельхозугодий, создания электронных карт полей и т.д.

В целях борьбы с вредоносными насекомыми активно используются спутниковые системы. Так, например, в Северной Африке за 70 дней до начала роения саранчовых стад ученые смогли определить их появления с точностью до 1 км. Такой способ мониторинга основан на сборе данных о влажности почвы и атмосферы. Спутник SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity mission) получал с поверхности Земли изображения с «яркостной температурой», т.е. интенсивностью светового излучения. Эта величина зависит непосредственно от увлажнения воздуха. Ученые на основе этих данных смогли составить прогноз и определить наиболее благоприятные зоны для размножения саранчи [4, 6, 8].

В Западной Сибири были проведены исследования вспышек вредителей за с 2007 г. Учитывались такие геофизические характеристики, как:

1. Температура земной поверхности;
2. Вегетационный индекс;
3. Влажность почвы;
4. Данные наблюдений на метеостанциях.

На основании этих параметров была предложена математическая модель по расчету саранчовой опасности, исходя из снимков со спутников [6].

Также в некоторых регионах методами борьбы с вредоносными насекомыми являются:

1. Обработка посевных культур биопестицидами. Это биопрепараты для борьбы с вредителями на основе новых штаммов бактерий, защищающие зерновые, плодовые и овощные культуры от заболеваний и вредителей, не оказывая негативного воздействия;
2. Вспахивание плантаций в целях уничтожения залегающих в земле личинок вредителей.

Анализ используемых технологий позволяет сделать вывод, что используемые на данный момент методы мониторинга вредителей на плантациях не являются достаточно эффективными, поскольку они не борются с источником проблемы, а устраняют ее последствия. Также вспахивание земель и обработка плантаций достаточно дорогой и трудоёмкий процесс. Из чего можно сделать вывод, что наиболее эффективным является мониторинг с помощью беспилотных летательных аппаратов.

На начало 2017 года рынок «сельскохозяйственных» БПЛА находится на начальной стадии развития. Однако эксперты полагают, что в будущем сельское хозяйство станет одним из самых крупных сегментов рынка для квадрокоптеров. Markets and Markets в 2016 году оценил рынок «сельскохозяйственных» БПЛА в \$ 864, 4 млн., спрогнозировав до 2022 года уверенный ежегодный рост отрасли в 30% (до \$ 4,2 млрд.). По словам экспертов, Markets and Markets, активному росту рынка будет способствовать постепенное улучшение нормативно-правовой конъюнктуры, которое сейчас наблюдается в различных странах мира [4].

По оценкам аналитического агентства PWC, через несколько десятков лет рынок одних «сельскохозяйственных» дронов (не включая беспилотники самолетного типа) может составить порядка \$32,4 млрд. Данный рост будет обусловлен увеличением численности мирового населения – чтобы всех прокормить, без инноваций в отрасли сельского хозяйства, позволяющих повысить урожайность, не обойтись.

Среди стран, где сейчас происходит активное использование «сельскохозяйственных» беспилотников, можно выделить США, Китай, Япония, Бразилия, страны ЕС и др.

Среди крупнейших фигур мирового рынка БПЛА, которые ориентируются на сельское хозяйство, можно выделить таких представителей, как AeroVironment Inc, AgEagle, DJI, Yamaha и др [11].

В конце декабря 2017 года компания DJI Innovation Technology (DJI), крупнейший в Китае производитель коммерческих беспилотников, сообщила, что более 10 тысяч операторов БПЛА используют БПЛА DJI серии MG, предназначенные для применения в сельском хозяйстве. По оценкам компании, продажи таких БПЛА в 2020 году достигнут 45 тысяч штук.

Китайский производитель намерен и дальше наращивать инвестиции в разработку сельскохозяйственных БПЛА и обучение операторов для них, чтобы помочь фермерам повысить эффективность обработки сельхозугодий пестицидами, передает China Daily [9, 10].

В ноябре 2015 года DJI выпустила свой первый сельскохозяйственный БПЛА MG-1, а в 2016-м пополнила ассортимент его модификацией под названием MG-1S, оснащенной передовой системой управления БПЛА, радаром и сенсорами.

В конце 2017 года DJI представила еще более совершенный БПЛА сельскохозяйственного назначения MG-1S Advanced с улучшенными радаром, распылительной и динамической системами, повышающими эффективность работы БПЛА и его точность. По данным компании, с помощью этой модели операторы могут ежедневно обрабатывать химикатами посевы на площади около 40 гектаров.

DJI видит большие перспективы для сельскохозяйственных БПЛА и планирует активизировать усилия по подготовке большего числа операторов для них. В интервью изданию вице-президент DJI Луо Дженхуа (Luo Zhenhua) заявил, что спрос на сельскохозяйственных БПЛА просто огромен.

По данным DJI, на долю ее БПЛА серии MG приходится около 70% продаж БПЛА сельскохозяйственного назначения в Китае.

С модернизацией сельского хозяйства в КНР рынок передовых устройств для фермеров переживает значительный подъем. Ожидается, что в 2023 году показатель проникновения БПЛА в агропромышленном комплексе Китая превысит 40%, а продажи таких устройств в денежном выражении достигнут 16 млрд юаней (\$2,4 млрд) [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из вышесказанного можно сделать вывод, что информационные технологии активно внедряются во все сферы жизни людей. Мониторинг в таких системах является неотъемлемой частью. Наиболее распространенными системами в сельском хозяйстве являются системы наблюдения с применением БПЛА. Использование беспилотных аппаратов наиболее экономичный и эффективный способ слежения за плантациями из всех существующих методов.

Список литературы

1. Применение радиоэлектронных систем для дистанционного мониторинга сельского хозяйства с целью обнаружения и обеспечения тушения пожаров / Канащенков А.И., Тихонов А.И., Новиков С.В., Кулакова Д.С. // Московский экономический журнал, 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/primenenie-radioelektronnyh-sistem-dlya-distantsionnogo-monitoringa-selskogo-hozyaystva-s-tselyu-obnaruzheniya-i-obespecheniya> (дата обращения: 13.03.2018).
2. Саранчовые Казахстана, Средней Азии и сопредельных территорий. Под. ред. Лачининского А.В., Ларами, 2002, 387 с.
3. Статья Skyrobot: Дрон с ИИ и ИК-датчиком, 2017 г. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Skyrobot:_%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%BD_%D1%81_%D0%98%D0%98_%D0%B8_%D0%98%D0%9A-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BC?cache=no&ptype=news#ttop (дата обращения: 13.03.2018).
4. Статья ИТ в агропромышленном комплексе России, 2017 г. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%98%D0%A2_%D0%B2_%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%BC_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8#.D0.91.D0

9F.D0.9B.D0.90_.D0.B2_.D1.81.D0.B5.D0.BB.D1.8C.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.BC_.D1.85.D0.BE.D0.B7.D1.8F.
D0.B9.D1.81.D1.82.D0.B2.D0.B5 (дата обращения: 13.03.2018).

5. Статья о Спутниковом мониторинге саранчи в Северной Африке, 2017 г. URL: <http://aboutdata.ru/2017/06/22/sattelites-vs-locusts/> (дата обращения: 13.03.2018).

6. Bryceson K.P. Locating locust infestation areas by satellite. In: Proc. 5th Australian Remote Sensing Conference, October 1990, 1990, pp. 581-584.

7. Despland E., Rosenberg J., and Simpson S.J. Landscape structure and locust swarming: a satellite' eye view. *Ecography*, 27, 2004, pp. 381–391.

8. Hamilton, J. G. and Bryceson, K. P. Use of enhanced GMS weather satellite data in locust forecasting. In: *Pest Control and Sustainable Agriculture*, CSIRO, Melbourne, 1993, pp. 444-448.

9. Tucker C.J., Hielkema J.U., and Roffey J. The potential of satellite remote sensing of ecological conditions for desert locust survey and forecasting. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1985, pp.127-138.

10. McGinnis D.F., Tarpley J.D. Vegetation cover mapping from NOAA/AVHRR. *Advances in Space Research*, 5 (6), 1985, pp. 359-369.

11. Franc A. Personal communication. CIRAD / Unite de Recherche d'Acridologie Campus International de Baillarguet (TA 40/D) 34398 Montpellier Cedex 5 - FRANCE, 2006

12. Концепция информационно-аналитической системы управления развитием города / Д.С. Парыгин, В.А. Камаев, Н.П. Садовникова, А.Ю. Миронов // Инновационные информационные технологии: матер. Междунар. науч.-практич. конф., Прага, Чехия, 22–26 апр. 2013 г. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. – Т. 4. – С. 205–213.

13. Барабанова Е.А., Мальцев Д.Б., Есауленко В.Н., Руденко М.Ф. Распределенная система контроля технологических объектов нефтегазовой промышленности на базе беспроводной сенсорной сети // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика – 2017. № 2. – С. 98–104.

References

1. Use of radio-electronic systems for remote monitoring of agriculture for the purpose of detection and ensuring suppression of the fires / Kanashhenkov A.I., Tihonov A.I., Novikov S.V., Kulakova D.S. // Moscow economic magazine, 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/primenenie-radioelektronnyh-sistem-dlya-distantionnogo-monitoringa-selskogo-hozyaystva-s-tselyu-obnaruzheniya-i-obespecheniya>

2. Locust Kazakhstan, Central Asia and adjacent territories. Under. edition of Lachininsky A.V., Larami, 2002, p. 387.

3. Article Skyrobot: The drone with AI and the IR sensor, 2017. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Skyrobot:_%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%BD_%D1%81_%D0%98%D0%98_%D0%B8_%D0%98%D0%9A-%D0%B4%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BCcache=no&ptype=news#top

4. Article IT in agro-industrial complex of Russia, 2017. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%98%D0%A2_%D0%B2_%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%BC_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8#.D0.91.D0.9F.D0.9B.D0.90_.D0.B2_.D1.81.D0.B5.D0.BB.D1.8C.D1.81.D0.BA.D0.BE.D0.BC_.D1.85.D0.BE.D0.B7.D1.8F.D0.B9.D1.81.D1.82.D0.B2.D0.B5

5. Article about Satellite monitoring of a locust in North Africa, 2017. URL: <http://aboutdata.ru/2017/06/22/sattelites-vs-locusts/>

6. Bryceson K.P. Locating locust infestation areas by satellite. In: Proc. 5th Australian Remote Sensing Conference, October 1990, 1990, pp. 581-584.

7. Despland E., Rosenberg J., and Simpson S.J. Landscape structure and locust swarming: a satellite' eye view. *Ecography*, 27, 2004, pp. 381–391.

8. Hamilton J.G. and Bryceson K.P. Use of enhanced GMS weather satellite data in locust forecasting. In: Pest Control and Sustainable Agriculture, CSIRO, Melbourne, 1993, pp. 444-448.

9. Tucker C.J., Hielkema J.U., and Roffey J. The potential of satellite remote sensing of ecological conditions for desert locust survey and forecasting. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1985, pp.127-138.

10. McGinnis D.F., Tarpley J.D. Vegetation cover mapping from NOAA/AVHRR. *Advances in Space Research*, 5 (6), 1985, pp. 359-369.
11. Franc A. Personal communication. CIRAD / Unite de Recherche d'Acridologie Campus International de Baillarguet (TA 40/D) 34398 Montpellier Cedex 5 - FRANCE, 2006
12. D.S. Parygin, V.A. Kamaev, N.P. Sadovnikova, A.Ju. Mironov. Concept of an information and analytical control system of development of the city. Publisher City: Prague, Czech Republic, Innovative information technologies, materials International scientific and practical conference, 2013, 205-213 p.
13. Barabanova E.A., Maltsev D.B., Esaulenko V.N., Rudenko M.F. The distributed control system of technological objects of the oil and gas industry on the basis of wireless touch network. Publisher City: Astrakhan, The Bulletin of the Astrakhan state technical university, Series: Management, computer facilities and informatics, 2017. No. 2, 98 – 104 p.

Бестаева Наталия Викторовна, магистрант
Султангалиева Джамиля Канатовна, магистрант
Зубова Анастасия Дмитриевна, магистрант

Bestaeva Natalia Viktorovna, master's degree student
Sultangalieva Djamilya Kanatovna, master's degree student
Zubova Anastasia Dmitrievna, master's degree student

UDC 658.51.012

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-25-35

Khodusov V.D.¹
Pihnastyi M.O.²

ON THE METHODS OF INVESTIGATING THE TRAJECTORIES OF THE
MOTION OF OBJECTS OF LABOR IN THE PHASE SPACE OF STATES

¹ V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Freedom Square, Kharkov, 61022, Ukraina

² Kharkiv National University of Radio Electronics, 14 Nauka Av., Kharkov, 61166, Ukraina

e-mail: vdkhodusov@karazin.ua, maksym.pihnastyi@nure.ua

Abstract

A model of an economic-production system with a flow-based method for organizing production is considered. The space of states of the subject of labor is introduced. The state of a particular subject of labor is determined by a point in the state space. The state of the economic-production system is determined through the aggregation of the states of a large number of the subjects of labor that are in the process of production. The paper assumes that if the state of each individual subject of labor is known, then the state of the parameters of the economic-production system is known. Using the variational and differential principles, Lagrange's function of the economic-production system is recorded. The equation for the normative technological trajectory of the movement of a subject of labor along a technological route is defined in the state space. When the subject of labor moves along a technological trajectory from one technological operation to another technological operation, technological resources are transferred to the subject of the labor as a result action of technological equipment. The Lagrange function of the economic-production system with a flow-based method of organizing production is recorded. The Lagrange function is constructed using the variational and differential principle. Methodological differences are shown when using the variational and differential approach to construct the Lagrange function of economic-production systems. It is shown that the Lagrange function, taking into account production and technical and socio-economic constraints, determines the subjective function of the economic-production system. The integrals of the movement of subjects of labor in the state space are defined, which can be used to model economic-production systems with a flow-based method of organizing production. It is shown that the integrals of motion are conservation laws that characterize the process of processing subjects of labor along the technological route.

Keywords: subjective function; variational principle; differential principle; production system; technological operation; basic product; acceptable deviations; technological trajectory; production system.

УДК 658.51.012

Ходусов В.Д.¹
Пигнастый М.О.²

О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ
ПРЕДМЕТОВ ТРУДА В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

¹ Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Площадь Свободы, д. 4, г. Харьков, 61022, Украина

² Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Пр. Науки, д. 14, г. Харьков, 61166, Украина

e-mail: vdkhodusov@karazin.ua, maksym.pihnastyi@nure.ua

Аннотация

Рассмотрена модель экономико-производственной системы с поточным методом организации производства. Введено пространство состояний предмета труда. Состояние отдельного предмета труда определяется точкой в пространстве состояний. Состояние экономико-производственной системы определяется через агрегирование состояний большого количества предметов труда, находящихся в процессе производства. В работе предполагается, что если известно состояние каждого отдельно взятого предмета труда, то известно состояние параметров экономико-производственной системы. С использованием вариационного и дифференциального принципов записана функция Лагранжа экономико-

производственной системы. Определено в пространстве состояний уравнение для нормативной технологической траектории движения предмета труда по технологическому маршруту. При движении предмета труда по технологической траектории от одной технологической операции к другой технологической операции на предмет труда переносятся технологические ресурсы в результате воздействия технологического оборудования. Записана функция Лагранжа экономико-производственной системы с поточным методом организации производства. Для построения функции Лагранжа использован вариационный и дифференциальный принцип. Показаны методологические отличия при использовании вариационного и дифференциального подхода для построения функции Лагранжа экономико-производственных систем. Показано, что функция Лагранжа с учетом производственно-технических и социально-экономических ограничений определяет целевую функцию экономико-производственной системы. Определены интегралы движения предметов труда в пространстве состояний, которые могут быть использованы для моделирования экономико-производственных систем с поточным методом организации производства. Показано, что интегралы движения являются законами сохранения, характеризующие процесс обработки предметов труда вдоль технологического маршрута.

Ключевые слова: целевая функция; вариационный принцип; дифференциальный принцип; производственная система; технологическая операция; базовый продукт; допустимые отклонения; технологический шум; производственная система.

1. INTRODUCTION

The description of the functioning of modern production can be represented in the form of a process in which the production system passes from one of its states to another. The state of the system can be defined as the state of the total number N of basic products of the production system [1, p.178]. Under the basic product (or conventional product [2, p.183]) is understood the element of the production system, to which the transfer of the value of living labor, raw materials, materials and tools during its movement along the operating chain of technological maps occurs. Along this movement, a task-oriented transformation of the starting and raw materials (interoperable procurement) into a finished product through the directed impact of socially useful labor takes place. The state of the j -base product can be described by microscopic quantities (engineering and manufacturing arguments) (S_j, μ_j) [3], where

S_j (\$) and $\mu_j = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S_j}{\Delta t}$ (\$/hour), respectively, the sum of total costs and costs per unit of time transferred by the production system to the j -base product, $0 < j \leq N$. The considered production system [4, 5] will be characterized by the function $J_{II}(t, S_i, \mu_i)$ [6]. Through the S_0 and μ_0 variables the technology of manufacturing process of the base product in the phase technologic space (S, μ) of the observed engineering and manufacturing arguments is defined. Variables S_0 and μ_0 determine the standard technologic technological trajectory for the production process [6, 7, 8]:

$$S_0 = S_0(t), \quad \mu_0 = \frac{dS_0(t)}{dt} \quad (1)$$

in phase space (S, μ) . The nominal technologic technological trajectory is determinate. Determinacy of the nominal technological trajectory follows the uniqueness of the given technology of manufacturing of the base product¹ [9-10]. Each manufacturing process has nominal technological arguments of production of the base product and acceptable deviation from the nominal technological arguments. The manufacturing process, performed with exceeding of the values of the maximum deviation, leads to a

¹ ГОСТ 3.1109.82. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2003. – 15 с.
GOST 3.1109.82. Terms and definitions of basic concepts. – M.: Gosstandart of Russia, 2003. – 15 p. (in Russia)

violation of the manufacturing process, that is, to the emerging of a reject workpiece² [9-10]. Let us assume that the manufacturing process at each m technological process be defined by k technology factors with their design intent $\langle Z_{m,k} \rangle - \Delta Z_{2m,k} \leq Z_{m,k} \leq \langle Z_{m,k} \rangle - \Delta Z_{1m,k}$, $m=1..N_m$, $\kappa=1..N_k$, where N_m и N_k denote, thereafter, the number of process stages and the number of technology factors that is allowed by the process stage. Each technology factor $Z_{m,k}$ is a random process with expectation function (face value) $\langle Z_{m,k} \rangle$ and thereafter upper and lower acceptable deviation (operational margin) $\Delta Z_{1m,k}$ and $\Delta Z_{2m,k}$ from the statutory value. The upper and lower operational margin $\Delta Z_{1m,k}$ and $\Delta Z_{2m,k}$ determine the upper and lower divergences of the parameter of the process stage from the given standard technologic trajectory allowed by the technology of manufacturing of the base product. When manufacturing the base product with technological parameters within the limits of the upper $\Delta Z_{1m,k}$ and lower $\Delta Z_{2m,k}$ deviations from the statutory values, allowed by the manufactory process, it is recognized that the base product is manufactured in accordance with the defined technology. Then, using the means of the theory of random processes³, the values of technological parameters could be received $\mu_{0m} - \sigma_{\mu_{0m}} \leq \mu_m \leq \mu_{0m} + \sigma_{\mu_{0m}}$, $S_{0m} - \sigma_{S_{0m}} \leq S_m \leq S_{0m} + \sigma_{S_{0m}}$ with m for process stage

$$\mu_{0m} = \mu_{0m}(Z_{m,k}, \Delta Z_{1m,k}, \Delta Z_{2m,k}), \quad \sigma_{\mu_{0m}} = \sigma_{\mu_{0m}}(Z_{m,k}, \Delta Z_{1m,k}, \Delta Z_{2m,k}), \kappa=1..N_k \quad (2)$$

2. MAIN PART

With a large number of process stages $N_m \gg 1$, it is convenient to go from a discrete description of values μ_{0m} , $\sigma_{\mu_{0m}}$ of the manufactory process to continuous description of values $\mu_0(t)$, $\sigma_\mu(t)$ on the multitude of integrable and differentiable functions [3]. Note that the values $S_0(t)$, $\sigma_s(t)$ can be obtained by the method of integrating technological parameters $\mu_0(t)$, $\sigma_\mu(t)$. Each j base product in the process of processing treatment passes from its reference state (initial procurement) to the final state (end product) in accordance with the given manufacturing process of the base product and forms a technologic technological trajectory in the phase technologic space (S, μ) . This technologic technological trajectory is the implementation of the manufactory process for the j base product. The technological process is implemented in the neighborhoods of the known manufacturing process of the base product, which is limited by the zone of admissible technologic trajectories.

The manufacturing process is determined by the plurality of states of the basic products. If it is known everything about the state of each base product at any particular time, then it is reasonable to assume that everything is also known about the state of the production system. The change in time of the properties of each base product of the production system can be represented as the movement of the base product in the phase space of the observed production and technologic parameters (S, μ) , and the law of motion can be obtained by using the methods of the variational calculus. Let us assume that at the instants of time $t=t_1$ and $t=t_2$ the system is in a state $J_{II}=(t_1, S_{j1}, \mu_{j1})$, $S_{j1}=S_j(t_1)$ and in state

² ГОСТ 3.1121.84. Общие требования к комплектности и оформлению на типовые и групповые технологические процессы (операции). – М.: Госстандарт России, 2005. – 48 с.

GOST 3.1121.84. General requirements for completeness and registration for typical and group technological processes (operations). – Moscow: Gosstandart of Russia, 2005. – 48 p. (in Russia)

³ ГОСТ 14.004-83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – М.: Госстандарт России, 2007. – 4 с.

GOST 14.004-83. Technological preparation of production. Terms and definitions of basic concepts. – Moscow: Gosstandart of Russia, 2007. – 4 p. (in Russia)

$J_{\Pi} = (t_2, S_{j2}, \mu_{j2})$, $S_{j2} = S_j(t_2)$ thereof. Then, between these states, the implementation of the technological process must be carried out in such a way that the subjective functional

$$I = \int_{t_1}^{t_2} J_{\Pi} dt \quad (3)$$

has a minimum relatively to possible deviations from the given technology.

Such an approach, which in the construction of the laws of motion of mechanical systems is called the principle of least action, is used in the construction of economic theories of production systems [11, 12]. The variation of the subjective functional (3) allows us to determine the equations of motion of each separately taken base product in the phase space of the observed engineering and manufacturing parameters (S, μ) [13-16]. Integrating the equations of motion for each base product, we obtain information about the state parameters of each base product, and hence information about the state of the production system as a whole [1, 17, 18]. Since everything is known about the state of each base product, then everything is known about the state of the production system [7, 8]. In most cases, the subjective functional (3) contains parameters that describe random factors of the implementation of the technological process [1, 3, 8, 15]. In this case, with the variation of the subjective functional (3), the equations of motion of the base product, which include random functions of implementation of the technological process are obtained [19]. Thus, as a result of integrating the equations of motion, a technological trajectory for the j base product, which is the implementation of the technological process and is determined by randomly generated factors during the movement of the base product along the process chain is obtained.

3. RESEARCH METHODS

3.1 THE VARIATIONAL PRINCIPLE OF CONSTRUCTING OF THE SUBJECTIVE FUNCTION OF THE PRODUCTION SYSTEM

Let the standard technological trajectory (1) of the manufacturing of the base product in the phase space (S, μ) be determined by the growth function of costs during the movement of the base product along the process chain. growth function of costs is built on the basis of process charts of the technological process, which determine the sequence of operations of the action of production of the base product and necessary production resources for performing manufacturing process (raw materials, labor, electricity, etc.) [3, 19]. growth function of costs – describes the process of accumulation of costs in accordance with the chosen technology of manufacturing of the base product [20]. We require that the subjective functional (3) has an extremal value on the set of possible trajectory $S_j(t, \alpha)$ for the manufacturing process with the given production technology of the base product.

The subjective functional (3), enumerated along a specific technological trajectory, is a function of the parameter α :

$$I(\alpha) = \int_{t_1}^{t_2} J_{\Pi}(t, S_j(t, \alpha), \mu_j(t, \alpha)) dt . \quad (4)$$

We calculate the fluctuation of the functional (3):

$$\delta I = \int_{t_1}^{t_2} \delta J_{\Pi} dt = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} \delta S_j + \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \delta \mu_j \right) dt = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} - \frac{d}{dt} \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) \delta S_j dt . \quad (5)$$

The integral is transformed by integration by parts:

$$\delta \mu_j = \delta \frac{d}{dt} S_j(t, \alpha) = \frac{\partial}{\partial \alpha} \frac{d}{dt} S_j(t, \alpha) \delta \alpha = \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \alpha} S_j(t, \alpha) \delta \alpha = \frac{d}{dt} \delta S_j \quad (6)$$

Technological trajectory $S_j(t, \alpha)$ for an individual j base product of the production system has a common beginning $(t_1, S_j(t_1))$ and a common ending $(t_2, S_j(t_2))$. Therefore, for $t = t_1$ and with $t = t_2$ the variations δS_j are equal zero and the integrated part becomes zero.

Since the implementation of the technological process must be carried out in such a way that the subjective functional (3) for the production process has a minimum, then the variation of the subjective functional (5) is equal zero:

$$\int_{t_1}^{t_2} \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} - \frac{d}{dt} \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) \delta S_j dt = 0, \quad (7)$$

which determines the equations of Euler for each individual base product

$$\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} - \frac{d}{dt} \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} = 0. \quad (8)$$

For production systems is known both the technology of production of the base product, and the criteria characterizing the deviation of technological parameters of the base product as it moves along the technological chain. The last is enough to construct the subjective function $J_{\Pi}(t, S_i, \mu_i)$ in an explicit form and write the equations of Euler (8) for each individual base product, which determine the states of the base product when it moves from one technological operation to another.

The equations of Euler for each individual base product (8) can also be obtained by differential equations of motion of the basic products along the process chain. However, there is one fundamental difference between differential equations and variational principles: the differential equations express some functional connection that connecting the position of the base products along the production chain of the production system, the transfer rate of cost and the acceleration of the cost transfer to the base product at the instant of time t . The variational principle also characterizes the normative technological process as a whole. It formulates the stationary property of the subjective functional for a given technological process. The variational principle has a more visible and compact form and is often used as a basis for constructing new methods for describing systems [7, 13, 21, 22].

3.2 DIFFERENTIAL PRINCIPLE OF BUILDING OF THE SUBJECTIVE FUNCTION OF THE PRODUCTION SYSTEM.

Euler differential equation for the basic products of the production system (8) is necessary and sufficient conditions for the variation be equal zero (6). Let the movement of the base product along the technological chain can be described by the equations [18, 19]:

$$\frac{d\mu_j(t)}{dt} = f(S_j), \quad \frac{dS_j(t)}{dt} = \mu_j, \quad (9)$$

where through the $f(S_j)$ indicated rate of change of the rate of transfer of costs to the j base product. In mechanics, this intensity is called a summarized force. We obtain the Euler equations (8) from the general equation of the dynamics of the production process:

$$\sum_{j=1}^N \left(f(S_j) - \frac{d^2 S_j(t)}{dt^2} \right) \delta S_j = 0. \quad (10)$$

Using the permutability of the operations of variation and differentiation with respect to time, we obtain

$$\sum_{j=1}^N \frac{d^2 S_j(t)}{dt^2} \delta S_j = \frac{d}{dt} \sum_{j=1}^N \frac{dS_j(t)}{dt} \delta S_j - \sum_{j=1}^N \frac{dS_j(t)}{dt} \frac{d}{dt} \delta S_j = \frac{d}{dt} \sum_{j=1}^N \frac{dS_j(t)}{dt} \delta S_j - \sum_{j=1}^N \frac{dS_j(t)}{dt} \frac{d\delta S_j}{dt} \quad (11)$$

where

$$\frac{d}{dt} \delta S_j = \delta \mu_j = \delta \frac{dS_j}{dt}.$$

We introduce the integral characteristics $F(S_j)$ of the rate of change of costs

$$F(S_j) = \int_0^{S_j} f(S) dS \quad (12)$$

Then it follows that

$$\sum_{j=1}^N f(S_j) \delta S_j = -\delta \sum_{j=1}^N F(S_j) \quad (13)$$

We write the equation of the dynamics of the production process of the base product (10) in the form

$$\delta \sum_{j=1}^N \frac{\mu_j^2(t)}{2} - \frac{d}{dt} \sum_{j=1}^N S_j(t) \delta S_j - \delta \sum_{j=1}^N F(S_j) = 0 \quad (14)$$

We integrate both sides of this equation in the range from $t = t_1$ to $t = t_2$

$$\int_{t_1}^{t_2} \left(\delta \sum_{j=1}^N \frac{\mu_j^2(t)}{2} - \delta \sum_{j=1}^N F(S_j) \right) dt - \left(\sum_{j=1}^N \frac{dS_j(t)}{dt} \delta S_j \right) \Big|_{t=t_1}^{t=t_2} = 0. \quad (15)$$

Since the variation δS_j for $t = t_1$ and $t = t_2$ equals zero, hence:

$$\left(\sum_{j=1}^N \frac{dS_j(t)}{dt} \delta S_j \right) \Big|_{t=t_1}^{t=t_2} = 0, \quad \int_{t_1}^{t_2} \left(\delta \sum_{j=1}^N \frac{\mu_j^2(t)}{2} - \delta \sum_{j=1}^N F(S_j) \right) dt = 0, \quad (16)$$

and congruence (16) can be transformed to the form

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j=1}^N \frac{\mu_j^2(t)}{2} - \sum_{j=1}^N F(S_j) \right) dt = 0, \quad (17)$$

where

$$J_{\Pi} = \sum_{j=1}^N \frac{\mu_j^2(t)}{2} - \sum_{j=1}^N F(S_j) \quad (18)$$

he subjective function of the production system.

Thus, the general equation of dynamics (10) led us to the variational principle

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} J_{\Pi} dt = 0$$

4. ANALYSIS OF THE RESULTS

When the basic products of the production system move along the technological chain in the phase space (S, μ) , there are functions $\varphi(S_j, \mu_j)$ of economic magnitudes S_j, μ_j that preserve constant values, depending only on the initial conditions, during the motion of the system. Such functions will be called the first integrals of the motion of the production system.

If the subjective function of the production system does not depend explicitly on time, then the total derivative of it can be written in the form:

$$\frac{dJ_{\Pi}}{dt} = \sum_{j=1}^{N_1} \left[\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} \frac{dS_j}{dt} \right] + \sum_{j=1}^{N_1} \left[\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \frac{d\mu_j}{dt} \right] \quad (19)$$

By virtue of the equation of Euler (9), we replace the derivatives $\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S}$ by their values $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right)$, we obtain

$$\frac{d}{dt} \sum_{j=1}^{N_2} \left[\left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) \frac{dS_j}{dt} - J_{\Pi} \right] = 0. \quad (20)$$

From which the intensity

$$\sum_{j=1}^{N_2} \left[\left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) \frac{dS_j}{dt} - J_{\Pi} \right] = \text{const} \quad (21)$$

is constant at the movement of base products along a technological chain. The systems, having an integral of this type, are called conservative.

The next integral of the motion of the production system arises from the likeness of the phase space. As consequence of the likeness of the phase space with respect to the coordinate S , we require that the subjective function $J_{\Pi}(t, S_i, \mu_i)$ of the determined system remains unchanged when the system is transferred to a segment δS , as a whole. The change in the subjective function due to a small displacement along the phase coordinate S :

$$\delta J_{\Pi}(t, S_j, \mu_j) = \sum_{j=1}^{N_1} \left[\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} \delta S \right] = \delta S \sum_{j=1}^{N_1} \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j}. \quad (22)$$

By virtue of arbitrariness δS it follows that $\delta J_{\Pi} = 0$ and it means that: the sum of all the technological influences on the basic products of the production system equals zero.

$$\sum_{j=1}^{N_1} \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial S_j} = 0. \quad (23)$$

Then, by the equations of Euler (8), we obtain

$$\sum_{j=1}^{N_1} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) = \frac{d}{dt} \sum_{j=1}^{N_1} \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) = 0, \quad (24)$$

from which

$$P_s = \sum_{j=1}^{N_1} \left(\frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} \right) = \text{const}. \quad (25)$$

An analogous integral of the motion of the production system arises from the invariance of the phase space with respect to the phase velocity

$$\sum_{j=1}^{N_1} \frac{\partial J_{\Pi}}{\partial \mu_j} = 0 \quad (26)$$

and is a necessary condition for the extremum of the microparameters of the production system.

From the equations of Euler (9), the properties of the subjective function are seen. If the production system consists of two non-interacting parts (production sites, departments, locations [23, 24]), then the congruence is correct:

$$J_{\Pi} = J_{\Pi_1} + J_{\Pi_2} \quad (27)$$

The multiplying of the subjective function of the production system by an arbitrary constant does not change the equations of motion of the base products, but leads only to the appropriate choice of the system of units of measure for building the model of the production system.

The subjective function of the production system is determined accurate to the total derivative of any function of the coordinates $S_j(t)$ in time $t: \theta(t, S_j)$. The latest is relevant to the fact that the variation from the function $\theta_{II}(t, S_j)$ is the null equation:

$$\delta\theta_{II}(t, S_j)dt = \int_{t_1}^{t_2} \left[\frac{\partial\theta_{II}}{\partial S_j} \delta S_j \right] dt = \delta S_j \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial\theta_{II}}{\partial S_j} dt = 0 \quad (28)$$

SUMMARY

Using the variational and differential principles, the subjective function for the basic products of the production system is recorded. The terms of the subjective function that characterize the technological field of the equipment and the intrinsic properties of the base product are determined. The first integrals of the movement of the base product along the technological chain are recorded. The properties of the subjective function for the basic products of the production system are shown. The resulting equations can be widely used in the design of highly efficient production line management systems, both with the use of production and technological description, and with the use of PDE-models of production systems [25, 26]. This approach is a competitive alternative to the use of Clearing functions [16, 26] for modeling the changes in the state of flow parameters of production lines of modern industrial enterprises.

Список литературы

1. Прыткин Б.В. Техничко-экономический анализ производства. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 399 с.
2. Летенко В.А., Родионов Б.Н. Организация, планирование и управление машиностроительным предприятием. Часть 2, Внутривзаводское планирование. – М.: Высшая школа, 1979. – 232 с.
3. Демуцкий В.П., Пигнастая В.С., Пигнастый О.М. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции – Доповіді Національної академії наук України, 2005. – N7 – С. 66–71.
4. Михайленко В.Г., Дидиченко Н.П., Дубровин А.А., Ходусов В.Д., Демуцкий В.П., Пигнастый О.М. Особенности моделирования технологических процессов производственных систем – Вестник ХНУ (экономическая серия), 2006. – N719 – С. 267–276.
5. Шананин А.А. Обобщенная модель чистой отрасли производства. // Математическое моделирование, 1997, том 9, №9, с.117–127
6. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 383с.
7. Федюкин В. К. Управление качеством процессов / В. К. Федюкин. – СПб.: Питер, 2004. – 204с.
8. Пигнастый О. М. О построении целевой функции производственной системы / О. М. Пигнастый // Доповіді Національної академії наук України. – Київ: Видавничий дім "Академперіодика". – 2007. – №5. – С. 50–55.
9. Якимович С.Б. Формирование комплектов машин лесозаготовок на основе распределения состояний предметов труда по маршруту технологических процессов. / С. Б. Якимович, И.Ю. Володина // Лесной вестник. – М: МГУЛ, – 2001. – №2. – С. 96 – 103.
10. Власов В.А. Моделирование технологических процессов изготовления промышленной продукции / В.А. Власов, И.А. Тихомиров, И.И. Локтев. – Томск, Изд. ГТПУ, 2006. – 300 с.
11. Дабагян А.В. Проектирование технических систем / А.В. Дабагян. – Харьков: ТД «Золотая миля», 2008. – Том 2. – 280 с.
12. Ventsel E.S., Ovcharov L.A. The theory of random processes and its engineering applications. – Moscow: Higher School, 2000. – 383p.
13. Shanenin A.A. Generalized model of the net industry // Mathematical modeling, 1997, volume 9, №9, p. 117-127.
14. Демуцкий В.П. Теория предприятия: Устойчивость функционирования массового производства и продвижения продукции на рынок / В.П. Демуцкий, В.С. Пигнастая, О.М. Пигнастый. – Харьков.: ХНУ, 2003. – 272 с.

15. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике / Ф.Р. Гантмахер. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1966. – 300 с.
16. Балашевич В.А. Математические методы в управлении производством / В.А. Балашевич. – Минск: Выш. шк., 1976. – 334 с.
17. Пигнастый О.М. Статистическая теория производственных систем / О.М. Пигнастый. – Харків: ХНУ, 2007. – 388 с.
18. Первозванский А.А. Математические методы в управлении производством / А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
19. Заруба В.Я. Моделирование движения предмета труда в пространстве состояний на примере технологии токарной обработки / В.Я. Заруба О.М. Пигнастый, В.Д. Ходусов // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Серія: Технічний прогрес та ефективність виробництва. – Харків: НТУ „ХПІ”. –2016. –№ 27(1199) – С. 33–37.
20. Пигнастый О.М. Модель производственного процесса обработки партии предметов труда / О.М. Пигнастый, В.Д. Ходусов // Автоматизированные технологии и производства. Магнитогорск: МГТУ им. Носова. – 2016. – № 1(11). – С. 24–32
21. Пигнастый О.М. Стохастическая модель переноса технологических ресурсов на предмет труда в результате воздействия технологического оборудования. / О.М. Пигнастый // Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика. – 2016. – Вып. 38. №9(230). – С. 146–155
22. Якимович С.Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок /С.Б. Якимович // Лесной вестник. – М: МГУЛ, – 2003. – №3. – С. 149–160.
23. Пигнастый О.М. Анализ принципов и методов построения систем управления производственным процессом / О.М. Пигнастый // Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика.– 2016. – Вып. 37. № 2(223). – С. 152–161
24. Пигнастый О.М. Обзор моделей управляемых производственных процессов поточных линий производственных систем / О.М. Пигнастый // Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика. – 2015. – Вып. 34/1. № 7(204). С.137–152.
25. Серебренников Г. Г. Организация производства / Г.Г. Серебренников. – Тамбов: Изд. ТГТУ, 2004. – 96 с.
26. Сеница Л.М. Организация производства / Л.М. Сеница. – Мн.: УП ИВЦ Минфин, 2003. – 512 с.
27. Пигнастый О.М. Использование PDE-моделей для построения единой теории производственных линий / О.М. Пигнастый // Вісник Херсонського національного технічного університету. Херсон: ХНТУ. – 2014. – № 3 (50). – С. 405 – 412
28. Пигнастый О.М. О новом классе динамических моделей поточных линий производственных систем / О. М. Пигнастый // Научные ведомости БелГУ. Экономика. Информатика. – 2014. – Вып. 31/1. № 15(186). – С. 147 – 157

References

1. Prytkin B.V. Technical and economic analysis of production. – М.: UNITY-DANA, 2000. – 399 p. (in Russia)
2. Letenko V.A., Rodionov B.N. Organization, planning and management of a machine-building enterprise. Part 2, Intra-plant planning. – Moscow: Higher School, 1979. – 232 p. (in Russia)
3. Demutsky V.P., Pihnastaya V.S., Pihnastyi O.M. Stochastic description of economic and production systems with mass production – Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2005. – N7– P.66-71 (in Russia)
4. Mikhaylenko V.G., Didichenko N.P., Dubrovin A.A., Khodusov V.D., Demutsky V.P., Pihnastyi O.M. Features of modeling of technological processes of production systems – Vestnik KhNU (economic series), 2006. – N719 – P.267-276 (in Russia)
5. Shananin A.A. Generalized model of the net industry // Mathematical modeling, 1997, volume 9, №9, p. 117–127 (in Russia)
6. Wenzel E.S., Ovcharov L.A. The theory of random processes and its engineering applications. – Moscow: Higher School, 2000. – 383 p. (in Russia)
7. Fedyukin V.K. Quality management processes / V.K. Fedyukin – St. Petersburg: Peter, 2004. – 204 with. (in Russia)

8. Pihnastyi O.M., On the construction of the subjective function of the production system / O.M. Pihnastyi // *Dopovidi Natsionalnoi Akademii Ukrainy*. – Kyiv: Publishing House "Academiperiodika". – 2007. – №5. – P. 50-55. (in Russia)
9. Yakimovich S.B. Formation of sets of logging machines based on the distribution of the state of subjects of labor along the route of technological processes. / S.B. Yakimovich, I.Yu. Volodin // *The Forest Herald*. – M: MGUL, – 2001. – №2. – P. 96 – 103. (in Russia)
10. Vlasov V.A. Modeling of technological processes of manufacturing of industrial products / V.A. Vlasov, I.A. Tikhomirov, I.I. Loktev. – Tomsk, Izd. GTPU, 2006. – 300 with. (in Russia)
11. Dabagyan A.V. Designing technical systems / A.V. Dabagyan. – Kharkov: TH "Golden Mile", 2008. – Volume 2. – 280 p. (in Russia)
12. Ventsel E.S., Ovcharov L.A. The theory of random processes and its engineering applications. – Moscow: Higher School, 2000. – 383p.
13. Shananin A.A. Generalized model of the net industry // *Mathematical modeling*, 1997, volume 9, №9, p.117-127
14. Demutskiy V.P. Theory of the enterprise: Stability of the functioning of mass production and promotion of products to the market / V.P. Demutskii, V.S. Pihnastyi, O.M. Pihnastyi. – Kharkov: KhNU, 2003. – 272 p. (in Russia)
15. Gantmakher F.R., Lectures on analytical mechanics / F.R. Gantmakher. – Moscow: Nauka, Ch. Ed. fiz.-mat. Lit., 1966. – 300 p. (in Russia)
16. Balashevich V.A. Mathematical methods in production management / V.A. Balashevich. – Minsk: Higher Education. pcs., 1976. – 334 p. (in Russia)
17. Pihnastyi O.M., Statistical theory of production systems / O.M. Pihnastyi. – Khar'kov: KhNU, 2007. – 388 p. (in Russia)
18. Pervozvansky A.A. Mathematical methods in production management / A.A. Pervozvansky. – Moscow: Nauka, 1975. – 616 p.
19. Zaruba V.Ya. Modeling the movement of an subject of labor in the state space using the example of turning technology / V.Ya. Zaruba O.M. Pihnastyi, V.D. Khodusov // *News of the National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute"*. Zbirnik naukovykh prat. Series: Technical progress and production efficiency. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2016. – No. 27 (1199) – P. 33–37. (in Russia)
20. Pihnastyi O.M. Model of the production process of processing a batch of labor items / O.M. Pihnastyi, V.D. Khodusov // *Automated technologies and production*. Magnitogorsk: MSTU named after Nosov. – 2016. – No. 1 (11). – P. 24–32 (in Russia)
21. Pihnastyi O.M. Stochastic model of the transfer of technological resources to the subject of labor as a result of the impact of technological equipment / O.M. Pihnastyi // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies*. – 2016. – Vol. 38. No. 9(230). – P. 146–155 (in Russia)
22. Yakimovich S.B. Statement and solution of the problem of synthesis and optimal control of technological processes of logging / S.B. Yakimovich // *The Forest Herald*. – M: MGUU, – 2003. – №3. – pp. 149–160. (in Russia)
23. Pihnastyi O.M. Analysis of principles and methods for constructing control systems for the production process / O.M. Pihnastyi // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies*. – 2016. – Vol 37. No 2(223). – P. 152–161 (in Russia)
24. Pihnastyi O.M. The review of models of controlled production processes of production line production lines / O.M. Pihnastyi // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies*. – 2015. – Vol. 34/1. nO 7(204). P. 137–152. (in Russia)
25. Serebrennikov G.G. The organization of production / G.G. Serebrennikov. – Tambov: Ed. TSTU, 2004. – 96 (in Russia)
26. Sinitsa L.M. The organization of production / L.M. Sinitsa. – Mn .: UPI of the Ministry of Finance, 2003. – 512 p. (in Russia)
27. Pihnastyi O.M. Use of PDE-models for the construction of a unified theory of production lines / O.M. Pihnastyi // *Visnik Khersonskogo national technical university*. Kherson: KhNTU. – 2014. – No. 3 (50). – P. 405 – 412 (in Russia)
28. Pihnastyi O.M. On a New Class of Dynamic Models of Production Line Production Lines / O.M. Pihnastyi // *Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies*. – 2014. – Vol. 31/1. No 15(186). – P. 147 – 157 (in Russia)

Khodusov Valery, Head of the Department of Theoretical Nuclear Physics and Higher V. N. Karazin Kharkiv National University, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Pihnastyi Maksym, engineer of the Department of Software Engineering Kharkov National University of Radioelectronics

Ходусов Валерий Дмитриевич, Заведующий кафедрой теоретической ядерной физики и высшей математики им. А.И. Ахиезера, Доктор физико-математических наук

Пигнастый Максим Олегович, инженер кафедры Программной Инженерии Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 621.316.824

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-36-42

Смирнов А.В.¹
Волощенко И.С.¹
Кузнецов А.В.¹
Басов О.О.²

**ИМИТАЦИОННОЕ И НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ**

¹) Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации», ул. Приборостроительная, д. 35, г. Орёл, 302034, Россия

²) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, morgan23011997@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрены основные причины возникновения неисправностей в электрических кабелях связи. С целью исследования их влияния на качество передачи сигналов в среде Multisim проведено имитационное моделирование процесса возникновения неисправностей в электрическом кабеле связи. Для автоматизации данного процесса предложен вариант принципиальной схемы устройства внесения неисправностей в указанный кабель связи. Проведено натурное моделирование, которое показало его адекватность реальным процессам, происходящим в проводных направляющих средах. Определены пути исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в системах передачи.

Ключевые слова: линия связи; электрический кабель; неисправность; повреждение изоляции; короткое замыкание; асимметрия сопротивления.

UDC 621.316.824

Smirnov A.V.¹
Voloshchenko I.S.¹
Kuznetsov A.V.¹
Basov O.O.²

**THE IMITATING AND NATURAL MODELING
OF THE DEVICE INTENDED FOR CAUSING FAULT
IN THE ELECTRICAL COMMUNICATION CABLE**

¹) Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St., Orel, 302034, Russia

²) Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

e-mail: sav_smirnof@mail.ru, morgan23011997@mail.ru, kvaa77@mail.ru, oobasov@mail.ru

Abstract

The paper examines the main reasons for fault in the electrical communication cable. The imitating modeling of the springing up of fault in the electrical communication cable was carried out in order to study its influence on the quality of signal transmission in Multisim. The circuit diagram of the device causing fault in the electrical communication cable and purposed for automation of the considered process is proposed in the present research. The natural modeling of the whole process was performed and its result corresponds with the real processes taking place in

the wire guide medium. The work determines further ways of investigation the influence of fault in cable on the quality of information broadcast in transmission systems.

Keywords: communication line; electrical cable; fault; insulation damage; short circuit; asymmetry; resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Сеть связи представляет собой комплекс сооружений, содержащих различные направляющие системы, среди которых важное место до сих пор занимают электрические кабели связи. К основным факторам, существенно влияющим на надежность таких кабелей, относятся осушение, электрическое старение и высыхание изоляции. Связано это, прежде всего, с естественным разложением (кристаллизацией) пропиточного слоя. Как правило, при аварии электрическому кабелю наносятся и вторичные повреждения: обжиг дугой, деформация за счет созданного внутреннего давления, поглощение влаги в поврежденном месте и т.д. Безусловно влиянию многих из указанных факторов не подвержены оптические кабели связи, что лишний раз доказывает перспективность их применения в качестве направляющих сред.

Однако применение в сетях связи электрических кабелей обуславливает необходимость установления причин возникновения неисправностей в них, исследование их влияния на основные параметры передачи, а также на качество информации, циркулирующей в соответствующих системах передачи.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КАБЕЛЕ СВЯЗИ

Помимо заводского брака, который со временем может привести к повреждению электрического кабеля связи, существуют и другие причины появления неисправностей:

- механические повреждения при прокладке или других строительных работах;
- вспучивание в виде спирали (иногда с образованием трещин) в результате воздействия в течение длительного времени периодических циклов нагрева и охлаждения, а также при значительных сетевых перегрузках;
- разрушение внешней оболочки под воздействием внешних механических факторов;
- естественная химическая коррозия из-за воздействия различных реагентов, содержащихся в почве;
- разрушение внешнего защитного слоя благодаря блуждающим токам от электрифицированного транспорта.

Главным конструктивным элементом электрического кабеля связи является внешняя оболочка, т. к. высокие диэлектрические характеристики кабеля обеспечиваются при отсутствии активного воздействия на него влаги и воздуха. Механическое повреждение наружной оболочки легко определяется по внешнему виду: как, правило, в этом случае деформирована как стальная броня (при ее наличии), так и оплетка. Свинцовая оболочка часто подвергается межкристаллическому разрушению, что визуально выражается в появлении на первом этапе сетки из мелких трещин. В дальнейшем это приводит к увеличению их размеров с последующим разрушением отдельных фрагментов. При наличии в составе продуктов коррозии двуокиси свинца, можно утверждать о ее электрическом происхождении за счет блуждающих токов. Такой окисел имеет характерный коричневый тон. В то же время в результате химической коррозии образуются продукты белого цвета, которые иногда имеют бледно-желтый или бледно-розовый оттенок.

Большинство из повреждений электрического кабеля связи связаны с его изоляцией: электрической и/или экрана. Специалисты связи различают три типа повреждений электрической изоляции: короткое замыкание, нарушение изоляции между двумя жилами разных пар и нарушение изоляции по отношению к заземлению.

Короткое замыкание (или просто «короткое») несколько отличается от аналогичного понятия в радиотехнике, в системах связи под ним следует понимать нарушение изоляции между двумя жилами одной пары. Уменьшение изоляции между жилами до сотни мегом уже представляет собой короткое замыкание, а «короткое» в 1-2 мегаома делает абонентскую линию уже полностью нерабочей.

Нарушение изоляции между двумя жилами разных пар, как правило, возникает при попадании воды в соединительную муфту или внутрь кабеля. Для абонентов системы передачи это повреждение вызывает эффект «круглого стола» или «конференции» – слышны переговоры посторонних людей, которые, в свою очередь слышат вас.

В руководящих документах установлена норма в 5 Мом/км как обязательная изоляция защитной оболочки кабеля. Выполнение этой нормы свидетельствует о герметичности оболочки электрического кабеля связи. В его реальных образцах изоляция экрана составляет от 40 до 30000 Мом.

В настоящее время существует разнообразное множество методов поиска рассмотренных повреждений, однако, наряду с этим, исследованию влияния данных неисправностей на основные параметры передачи электрических кабелей связи уделяется очень мало внимания.

Для проведения такого исследования в среде Multisim была разработана схема возникновения основных неисправностей двухпарного кабеля связи (рис. 1). В качестве прототипа для него рассматривался электрический кабель П-296, основные технические и эксплуатационные характеристики которого представлены в таблице 1.

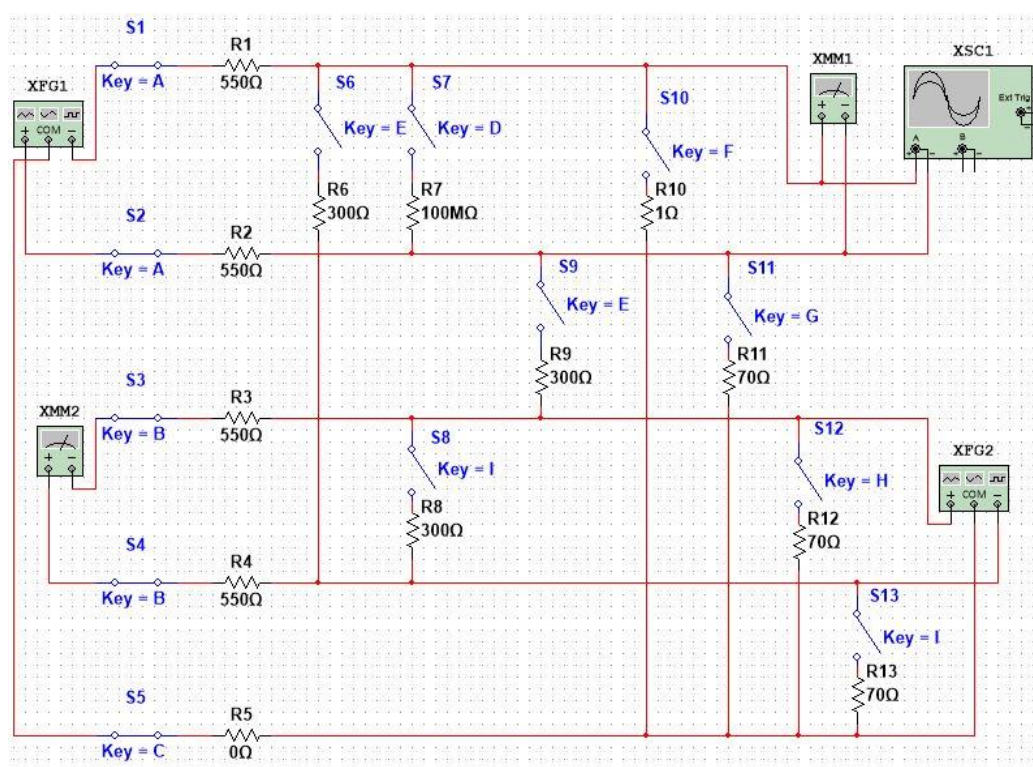


Рис. 1. Имитационное моделирование процесса возникновения неисправностей в электрическом кабеле связи в среде Multisim

Fig. 1. Simulation of the process of faults in the electrical communication cable in the Multisim

Таблица 1

**Основные технические и эксплуатационные характеристики
электрического кабеля связи П-296**

Table 1

**Main technical and operational characteristics
of the communication cable P-296**

Характеристика	Показатель
Сопротивление цепи постоянному току	55,5 Ом/км
Омическая асимметрия	0,28 Ом/км
Сопротивление экрана постоянному току	7 Ом/км
Сопротивление изоляции	5000 МОм/км
Рабочая емкость на частоте 0,8 кГц	44,6 нФ/км
Переходное затухание на ближнем конце на длине 500 м и частоте 110 кГц	68 дБ/сд
Защищенность на дальнем конце на длине 500 м и частоте 110 кГц	77 дБ/сд,
Испытательное напряжение между жилами, между жилами и оболочкой	1500 В
Выходное сопротивление кабеля	135 Ом
Строительная длина	500 м
Конструкция жил	7×0,35 мм
Количество жил	4 шт.
Материал изоляции жил	полиэтилен
Скрутка жил	звездная
Материал экрана	медная проволока
Материал защитного шланга	поливинилхлорид
Диаметр кабеля	14 мм
Масса кабеля	240 кг/км

В рассматриваемой схеме (рис. 1) резисторами R1-R4 с сопротивлениями 550 Ом имитируется электрический кабель длиной 10 км. При этом сопротивление экрана R5 составляет 70 Ом. Указанными резисторами может быть установлена любая требуемая длина кабельной линии связи, а при их неодинаковых значениях сопротивлений – симитирована омическая асимметрия – разница в сопротивлении двух жил пары постоянному току. Ключами S1-S5 имитируется обрыв каждой из жил кабеля и его экрана. Ключами S6-S9 с последовательно включенными резисторами R6-R9 имитируется нарушение изоляции между жилами, реализована возможность изменения номинала указанных сопротивлений от 0 до 100 МОм. Ключами S10-S13 с последовательно включенными резисторами R10-R13 имитируется нарушение изоляции по отношению к заземлению, реализована возможность изменения номинала указанных сопротивлений от 0 до 100 МОм.

Результаты имитационного моделирования убедительно свидетельствуют об адекватности используемого подхода. Так на рисунке 2, а демонстрируется возникновение короткого замыкания между первой и второй жилой электрического кабеля, а на рисунке 2, б – понижение изоляции между двумя жилами до 100 МОм. В ходе эксперимента было установлено, что уменьшение сопротивления изоляции до 1 МОм приводит к аналогичному результату.

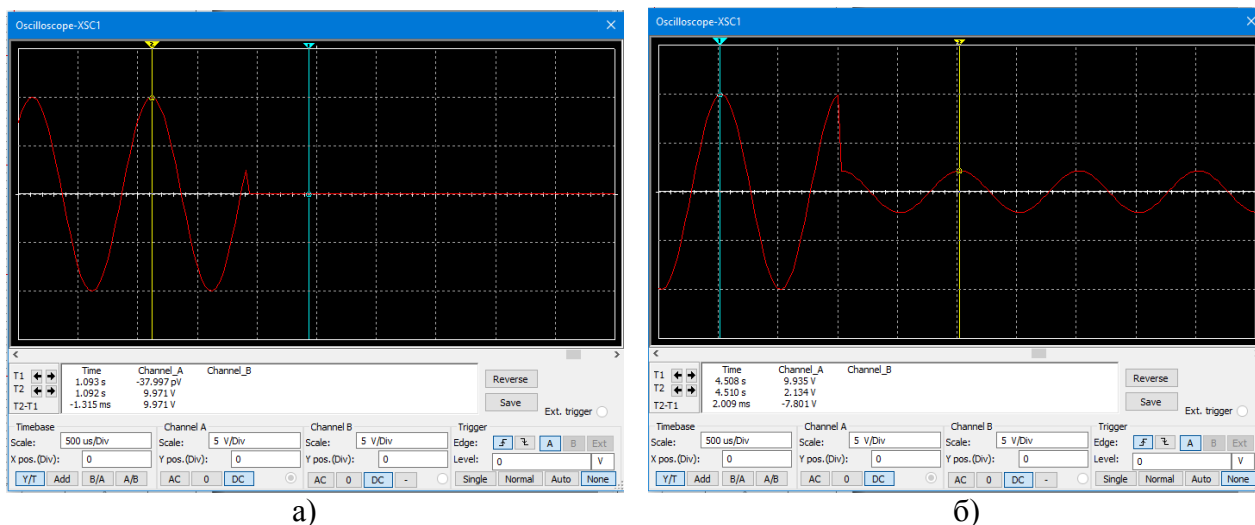


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования процесса возникновения неисправностей
Fig. 2. Results of simulation simulation of the process of faults occurrence

НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ВНЕСЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ

На основе полученных данных для исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в системах передачи было предложено соответствующее устройство, исполнительная часть которого представлена на рисунке 3. В качестве управляющего модуля использована плата Arduino UNO с подключенными к ней блоками реле P1-P13 и шаговыми двигателями для изменения положения движка переменных резисторов R1-R13.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе натурального эксперимента было установлено следующее:

1. Для имитации значительных длин кабеля (свыше одного километра) необходимо учитывать переходные процессы между отдельными жилами кабеля и экраном. В этой связи в схеме (рис. 3) принято использовать переменные резисторы R1-R4 номиналом 100 Ом, позволяющие имитировать асимметрию сопротивлений жил на длине до 1 км.

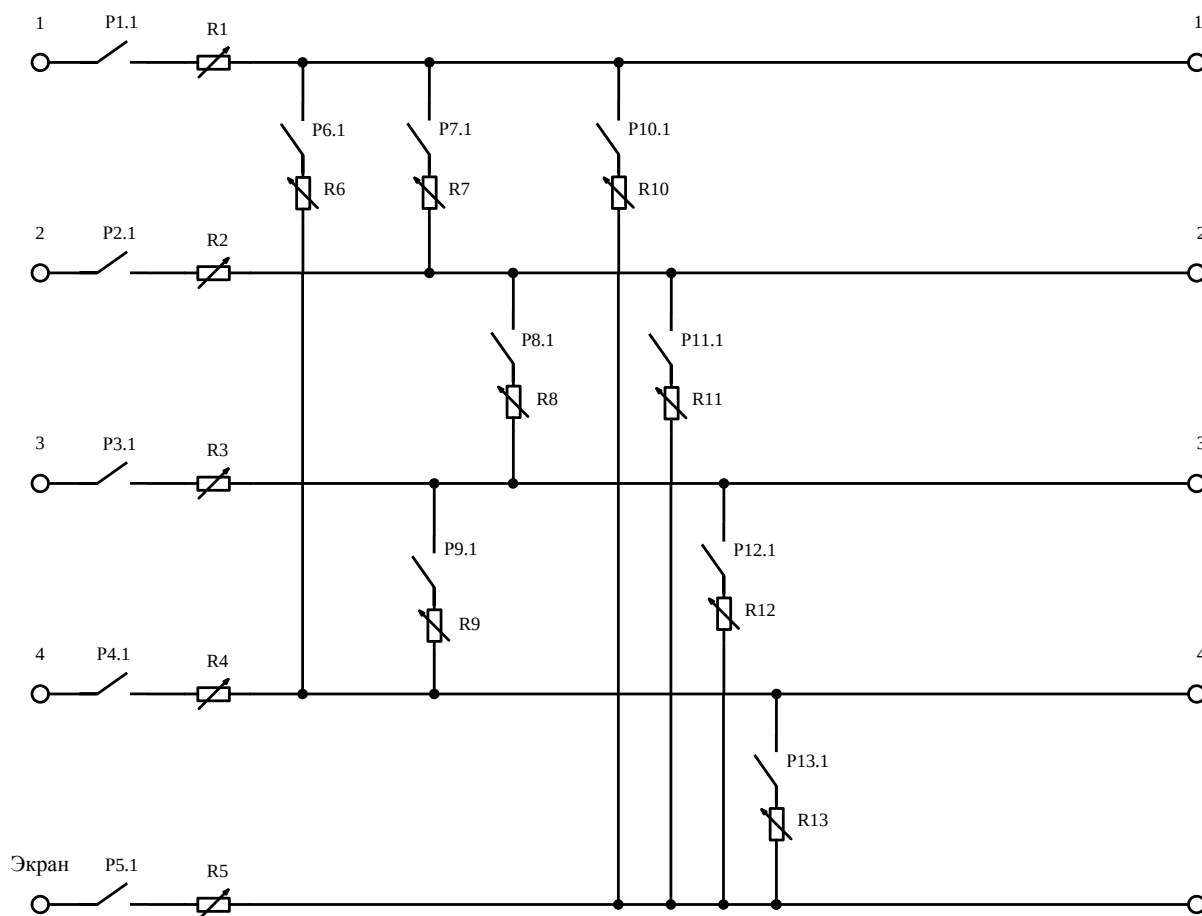


Рис. 3. Принципиальная схема исполнительной части устройства внесения неисправностей в электрический кабель связи

Fig. 3. Schematic diagram of the executive part of the device for making faults in the electrical communication cable

2. С учетом незначительного влияния сопротивления изоляции свыше 1 МОм на качество распространения сигнала по электрическому кабелю связи и отсутствия переменных резисторов с номиналом свыше указанной величины принято решение о использовании в схеме резисторов R6-R13 номиналом 1 МОм.

3. В качестве сопротивления экрана постоянному току R5 принято решение использовать переменный резистор номиналом 10 Ом, значение которого изменяется в соответствии с изменением значений сопротивлений R1-R4, имитирующих различную длину электрического кабеля связи (в пределах одного километра).

Для исследования влияния неисправностей в кабеле связи на качество передачи информации в дальнейшем предполагается использовать разработанный прототип устройства в совокупности с реальным кабелем П-296 при организации систем передачи различного типа.

Список литературы

1. Алиев А.А. Кабельные изделия: справочник. – 3-е издание. – М.: ИП РадиоСофт, 2014. 224 с.
2. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком. 2011. 424 с.
3. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей. – М.: Радио и связь, 2000. 587 с.
4. Ионов А.Д., Попов Б.В. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. 82 с.

5. Ожигов В. А. Кабели связи. – Орел, ВИПС, 1997.
6. Ожигов В. А., Рыжий В. М. Расчет параметров линий связи, часть I. Симметричные кабели связи. – Орел: ВИПС, 1998.
7. Ксенофонов А.А., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи: задачник. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 267 с.
8. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Цифровые сети доступа. – М.: Натекс-Экотрендз, 2005. 288 с.
9. Хернитер М.Е., Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. – ДМК Пресс. – М.: Издательский дом ДМК"пресс, 2006. – 488 с.: ил.
10. Рекомендация МСЭ-Т L.19. Многопарные медные сетевые кабели, обеспечивающие одновременную работу нескольких служб, таких как POTS, ISDN и xDSL.

Reference

1. Aliev A.A. Cable products: reference book. – 3rd edition. – Moscow: IP RadioSoft, 2014. 224 p.
2. Andreev V.A., Portnov Je.L. Guides of the telecommunication system: a textbook for high schools. V 2-h tomah. Tom 1 – Theory of transmission and influence. – 7-e izd., pererab. i dop.– М.: Gorjachaja linija – Telekom, 2011. 424 p.
3. Bakalov V.P., Dmitrikov V.F., Kruk B.I., 2000. Fundamentals of the theory of chains. – М.: Radio i svjaz'. 587 p.
4. Ionov A.D., Popov B.V. Communication lines. – М.: Radio i svjaz', 1990. 82 p.
5. Ozhigov V.A. Communication cables. – Орел, VIPs, 1997.
6. Ozhigov V.A., Ryzhi V.M. Calculation of parameters of communication lines, part I. Symmetrical communication cables. – Орел, VIPs, 1998.
7. Ksenofontov A.A., Portnov Je.L. Guides of the telecommunication system: task book. – 2-e izd., stereotip. – М.: Gorjachaja linija – Telekom, 2009. 267 p.
8. Parfenov Ju.A., Miroshnikov D.G. Digital access networks. – М.: Nateks-Jekotrendz, 2005. – 288 p.
9. Herniter E., Multisim 7: Modern system of computer simulation and circuit analysis of electronic devices. – ДМК Press. – М.: Publishing house of the ДМК "press, 2006. – 488 p.
10. Recommendation ITU. L.19. Multi-pair copper network cable supporting shared multiple services such as POTS, ISDN and xDSL.

Смирнов Андрей Вячеславович, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Волощенко Игорь Сергеевич, студент Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Кузнецов Андрей Викторович, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации
Басов Олег Олегович, доктор технических наук, профессор кафедры речевых информационных систем

Smirnov Andrey Vyacheslavovich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Voloshchenko Igor Sergeevich, student Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Kuznetsov Andrey Viktorovich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation
Basov Oleg Olegovich, doctor of technical sciences, Professor of Department of Speech Information Systems

УДК 614:621.37

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-43-52

Джанаев С.А.-Б.
Алишева А.Е.
Цыгута А.Н.

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ, И ИХ СООТВЕТСТВИЕ
ТРЕБОВАНИЯМ САНИТАРНЫХ НОРМ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет», ул. Татищева, д. 16, г. Астрахань, 414056, Россия

e-mail: astu@astu.org

Аннотация

В данной статье ставится задача рассмотреть эффект электромагнитного излучения от базовых станций мобильных операторов. Зачастую уровни излучения превышают предельно допустимые условия и не соответствуют санитарным нормам, законодательно закрепленным в Российской Федерации. Также необходимо обратить внимание на проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Однако в научной среде проведено недостаточно исследований, подтверждающих или опровергающих данные сведения. В работе предлагаются шаги, направленные на решение существующих проблем. Во-первых, была описана методика измерений электромагнитного излучения, на основе уже имеющихся данных, для мониторинга окружающей среды. Во-вторых, для минимизации негативного влияния радиотехнического устройства, на нормальную работу других устройств, был проведен анализ его количественных и качественных результатов.

На сегодняшний день для минимизации сопутствующих проблем есть все необходимые ресурсы. Так, проблема электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств решается только путем комплексного подхода, а электромагнитное излучение от базовых станций операторов, и его превышение необходимо систематически проверять.

Ключевые слова: электромагнитное поле; электромагнитное излучение; радиоподвижные устройства; базовые станции; электромагнитный мониторинг; электромагнитная совместимость; санитарные нормы и правила.

UDC 614:621.37

Dzhanaev S.A.-B.
Alisheva A.E.
Tsyguta A.N.

**METHODS FOR DETERMINING THE LEVEL OF THE ELECTROMAGNETIC
FIELD OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS AND THEIR
CONFORMITY TO THE REQUIREMENTS OF SANITARY STANDARDS**

Astrakhan State Technical University, 16 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russia

e-mail: astu@astu.org

Abstract

This article aims to consider the effect of electromagnetic radiation from the base stations of mobile operators. Often the radiation levels exceed the maximum permissible conditions and do not correspond to the sanitary norms legislatively fixed in the Russian Federation. It is also necessary to pay attention to the problems of electromagnetic compatibility of radio electronic devices.

However, in the scientific environment, there is insufficient research confirming or refuting this information. The paper proposes steps aimed at solving existing problems. First, the method of measuring electromagnetic radiation, based on the data already available, was described for monitoring the environment. Secondly, in order to minimize the negative impact of the radio

engineering device, on the normal operation of other devices, an analysis was made of its quantitative and qualitative results.

To date, to minimize the attendant problems, there are all the necessary resources. So, the problem of electromagnetic compatibility of radio-electronic means is solved only by a complex approach, and electromagnetic radiation from the operator's base stations, and its excess should be systematically checked.

Keywords: electromagnetic field; electromagnetic radiation; radio-mobile devices; base stations; electromagnetic monitoring; electromagnetic compatibility; sanitary norms and rules.

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь современного человека уже несколько десятилетий находится под влиянием электромагнитных полей. Вторая половина двадцатого века ознаменовалась огромным рывком в области радиоэлектроники, систем беспроводной связи, электроэнергетики. Рядом, незаметно для нас, работают мощные радиопередающие устройства теле-радиопередающих центров, антенн базовых станций, которые излучают в пространство электромагнитную энергию. В течение последних двух десятилетий величины электрических и магнитных полей увеличились многократно.

Каждый день миллионы людей подвергаются воздействию электромагнитного поля, вызываемого компьютерами, бытовой техникой, электрическими кабелями и средствами связи. Значительная часть населения России живет в черте города и постоянно подвергается воздействию электромагнитного поля, создаваемого базовыми станциями операторов, антенн передающих центров, но за это удобство человеку приходится «платить». Безопасность человека определяется предельно допустимыми значениями характеристик излучающего оборудования наряду с мониторингом ключевых параметров электромагнитного поля, что в итоге формирует безопасные условия для жизни. Кроме того, радиоэлектронные средства, излучающие энергию, создают достаточно сильные помехи, ухудшая технические показатели работы этих устройств.

Таким образом, актуальным является мониторинг электромагнитного поля, как с точки зрения электромагнитной совместимости радиотехнических средств, так и с точки зрения безопасности жизнедеятельности человека.

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОНИТОРИНГ

Электромагнитное излучение делят на природные и антропогенные. К первым относят магнитное поле нашей планеты, молнии, а также радиоволны, которые зарождаются в космосе (Солнце, галактики и т.д.).

В соответствии с международной классификацией антропогенные источники электромагнитных полей делятся на две группы:

- 1 – источники, генерирующие крайне низкие и сверхнизкие частоты от 0Гц до 3 кГц;
- 2 – источники, которые генерируют излучение в радиочастотном диапазоне от 30 кГц до 300 ГГц, включая сверхвысокие частоты от 300 МГц до 300 ГГц.

На сегодняшний день в нашу жизнь крепко вошли мобильные телефоны. Если в 1997 году число пользователей сотовой связью в России составляло 150 тысяч человек, то на сегодня эта цифра достигла уже 255 миллионов абонентов. Сотовая связь, как и везде, состоит из базовых станций и радиоподвижных устройств. Базовые станции расположены на расстоянии от 500 метров до 15 километров друг от друга, образуя между собой сеть (соты). Передача данных между базовыми станциями происходит по транспортной сети: радиорелейная линия либо волоконно-оптическая линия связи.

Радиоподвижные устройства (мобильные телефоны) работают на частотах 450 – 1800 МГц. Частота и виды вариантов зависит от типа сотовой связи. На данный момент основной распространенной системой сотовой связи в России является GSM – 900/1800 МГц. Исходя из

технологических требований построения сотовой связи, диаграмма направленности антенн в вертикальной плоскости рассчитана так, что основное излучение (более 90%) сосредоточена в узком луче. Антенна направлена в противоположную сторону от базовой станции, что является необходимым условием для нормальной работы системы.

Базовая станция мобильной системы связи является радиотехническим объектом и не работает круглосуточно. Загрузка определяется наличием мобильных устройств в зоне обслуживания конкретной базовой станции и их возможностью воспользоваться аппаратом для разговора, что, в свою очередь, зависит от времени суток, расположения базовой станции и др. В ночное время суток нагрузка на базовые станции практически равна нулю.

Исследования электромагнитной обстановки на территории, прилегающей к базовой станции, были проведены специалистами ВымпелКом «Билайн» в г. Москва. По результатам исследования можно резюмировать, что в Москве и Московской области в 100% случаев электромагнитная обстановка в помещениях не отличалась от фоновой. На прилегающей территории в 91% случаев зафиксированные значения электромагнитного поля были в 50 раз меньше предельно допустимых значений, установленного для данного типа базовой станции. Максимальное излучение при измерениях, меньшее предельно допустимых значений в 10 раз, было зарегистрировано у здания, на котором установлено сразу три базовые станции разных стандартов.

Имеющиеся научные данные и существующая система санитарно-гигиенического контроля при введении в эксплуатацию базовых станций сотовой связи позволяют причислить базовые станции сотовой связи к наиболее экологически и санитарно-гигиенически безопасным системам связи.

КОНТРОЛЬ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РАДИОСРЕДСТВ

Электромагнитный мониторинг предполагает оценку электромагнитной обстановки на территории размещения базовой станции на всех стадиях проектирования, строительства и реконструкции с целью соответствия электромагнитного поля действующим нормативам предельно допустимого уровня.

Документами, регламентирующими методы определения уровней электромагнитного поля, являются методические указания. Для того, чтобы измерить уровень электромагнитного поля в диапазоне частот 300 МГц – 2400 МГц используются средства измерения, предназначенные для определения среднего значения плотности потока энергии.

Для определения реального состояния электромагнитной обстановки в районах размещения базовых станций проводят инструментальный контроль электромагнитного поля. Определение плотности потока энергии электромагнитного излучения от мобильных устройств, проводят по методикам и средствам измерения, имеющих соответствующие сертификаты соответствия. Основным пунктом, определяющим уровень плотности потока энергии от мобильного устройства, является его мощность. Учитывая изменение мощности в зависимости от того насколько удалена базовая станция, целесообразно проводить измерения на максимальном удалении применительно изучаемого населенному пункту. Оценка плотности потока энергии, создаваемой базовыми станциями в диапазоне частот 300–800 МГц, проводится на расстояниях от лицевой стороны антенны (см. рисунок 1).

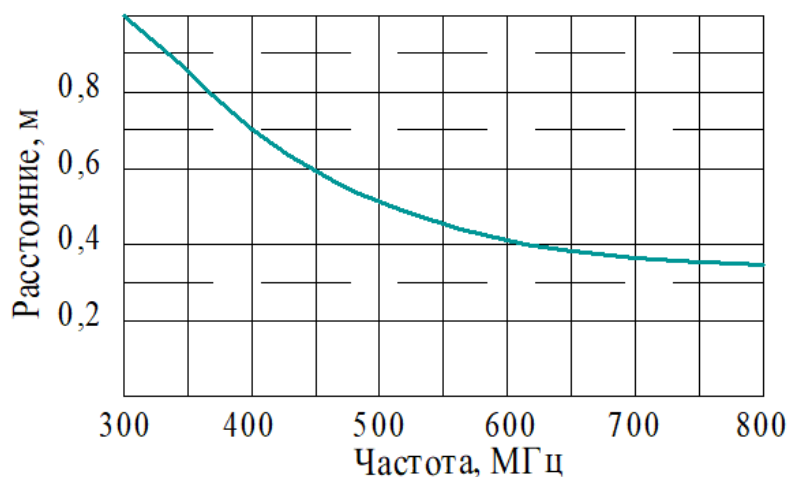


Рис. 1. Расстояния, на которых следует проводить измерения плотности потока энергии от мобильных устройств, работающих в диапазоне частот 300-800 МГц

Fig. 1. The distances from mobile devices operating in the frequency range 300-800 MHz at which it is necessary to measure flux density

Брацук А.А., Иванова Л.А., Яншина Э.Р. в своей статье «Зависимость величины электромагнитного излучения мобильных телефонов от марки производителя и года выпуска» измеряли уровень электромагнитного излучения мобильных устройств разных производителей и годов выпуска, сравнивали полученные данные с предельно допустимыми значениями электромагнитного излучения. В работе использовался измеритель уровня электромагнитного излучения ПЗ-41 (см. рисунок 2) и антенна-преобразователь с частотой 0,3-40 ГГц и измерителя параметров электрического и магнитного полей ВЕ-метр-АТ002 (см. рисунок 3).



Рис. 2. Измеритель уровня электромагнитного излучения ПЗ-41

Fig. 2. The measurer of the level of electromagnetic radiation PZ-41



Рис. 3. Измеритель параметров электрического и магнитного полей BE-метр-AT002
Fig. 3. The measurer of electric and magnetic fields parameters BE-meter-AT002

В работе тестировались 34 мобильных устройства разных производителей и годов выпуска, наиболее популярных на российском рынке. Измерения проводились в двух режимах: в режиме звонка и режиме ожидания. По результатам измерений видно (рисунок 4), что значения плотности потока энергии в режиме ожидания гораздо ниже, чем в режиме звонка, также уровень сильно отличается от модели мобильного устройства. В режиме звонка плотность потока энергии всех тестируемых устройств соответствует санитарно-гигиеническим нормам, когда как в режиме звонка устройств Samsung 2007 и 2009 годов выпуска, вкупе с Nokia Lumia 2013 превышают предельно допустимый уровень.

В ходе исследования авторы выделили три марки мобильных устройств: iPhone, Samsung, Nokia, наиболее распространенных в нашей стране и выяснили, что производители добились снижения уровня электромагнитного излучения, в то время как производители марки Nokia не улучшили этот показатель (рисунок 5).

Авторы приходят к выводу, что основное воздействие электромагнитного излучения идет во время совершения звонка, когда как в режиме ожидания – это воздействие на порядок ниже. Также уровень электромагнитного излучения в большей степени зависит не от марки устройства, а от года выпуска, чем телефон «свежее», тем больше он соответствует санитарно-гигиеническим требованиям, принятым в России.

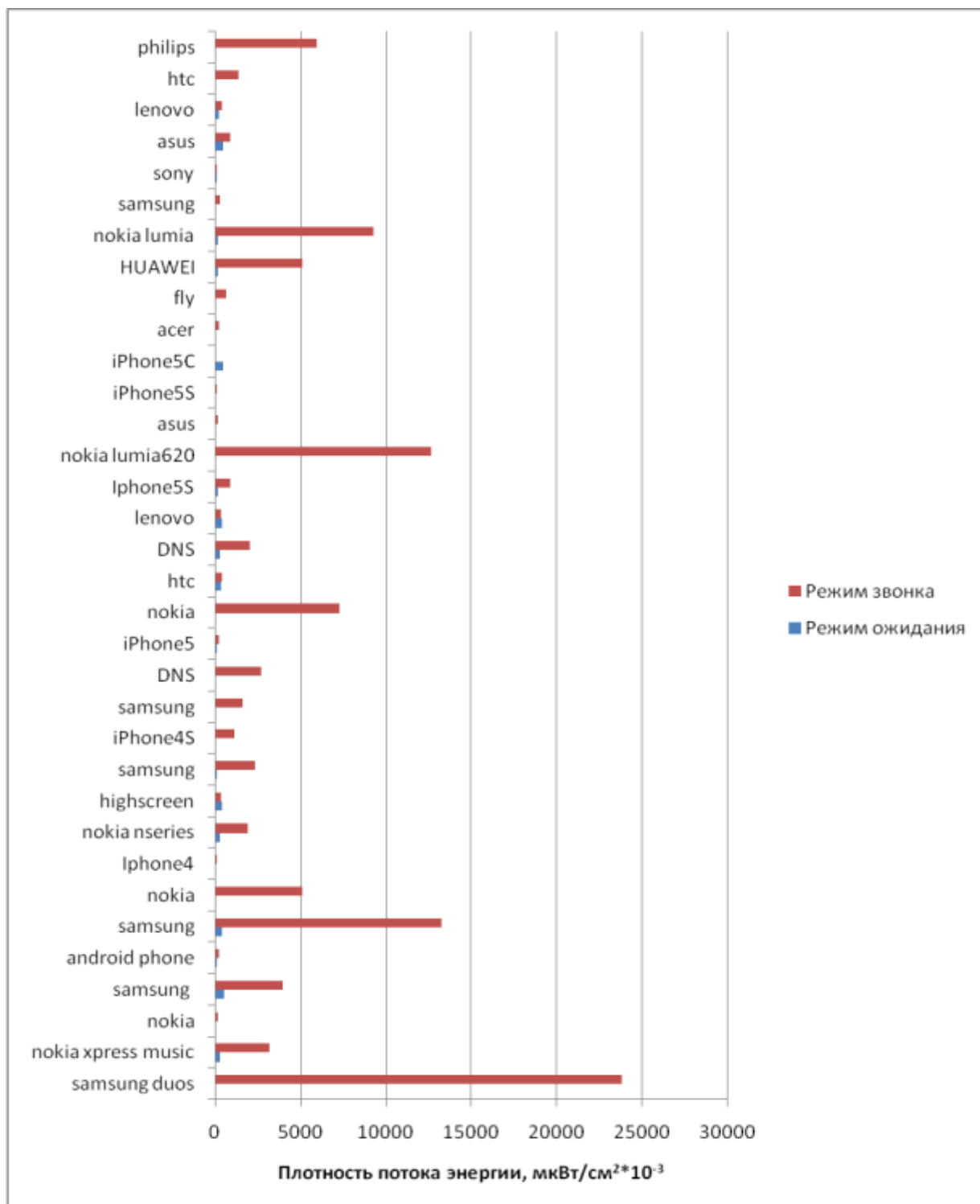


Рис. 4. Плотность потока энергии устройств в режиме звонка и в режиме ожидания
Fig. 4. The energy density of devices in the call mode and in standby mode

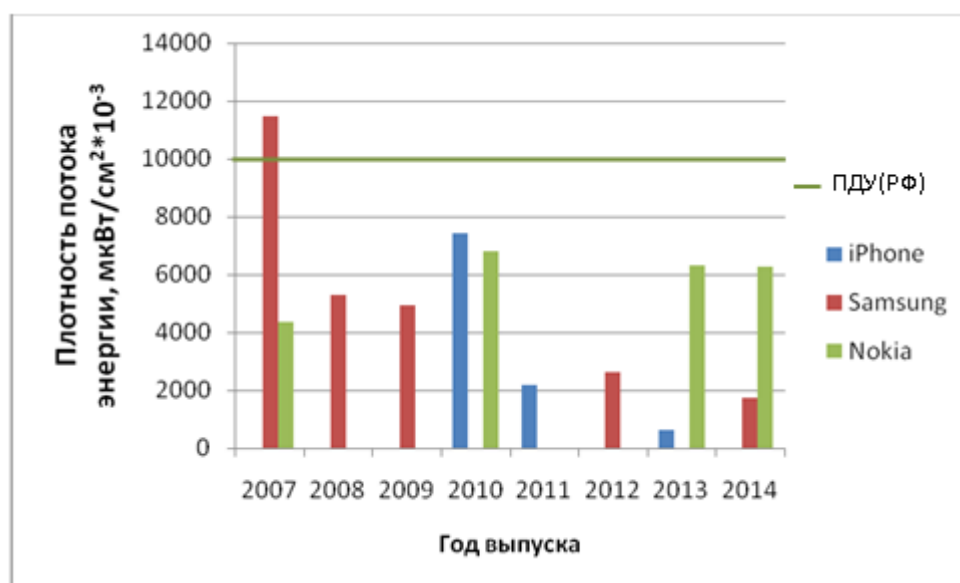


Рис. 5. Плотность потока энергии мобильных устройств производителей в режиме звонка в зависимости от года выпуска

Fig. 5. The energy flow density of mobile devices manufacturers in call mode depending on the release year

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В статье «Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств» авторы: Юрков Н.К., Андреев П.Г., Жумабаева А.С. обращают внимание на обеспечение совместной работы разных радиоэлектронных средств, их взаимного негативного влияния друг на друга, за счет генерирования взаимных помех, затрудняющие их нормальную работу. Электромагнитная совместимость с каждым годом заставляет уделять к себе все большее внимание общества. Так как в последнее время ее используют злоумышленники, и не только для получения какой-либо информации, но и для ее уничтожения. Сильные источники излучения способны вывести из строя электронные блоки хранения и обработки информации. Вследствие этого проблема защиты относится к приоритетным задачам по электромагнитной совместимости, как на уровне компьютерных программ, так и на уровне телекоммуникационных систем.

Электромагнитная совместимость – это способность радиотехнического средства сохранять нормальную работоспособность в условиях электромагнитного воздействия другого аппарата. Авторы выделяют несколько причин, вызывающие проблемы электромагнитной совместимости: большое число радиоэлектронных средств в одном помещении, ограниченность либо загруженность диапазона частот, повышается излучающая мощность передатчиков, несовершенство антенных устройств и постоянный рост энергетических потребностей человека.

Объекты, оказывающие в процессе работы, влияние на электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств называются донорами. Объекты, подвергающиеся воздействию электромагнитного излучения другого устройства, называются рецепторами. Важно отметить, что радиоэлектронное средство может быть как источником, так и рецептором электромагнитных помех. В случае, если электромагнитные волны распространяются в открытом пространстве, то уровень помех будет зависеть от нескольких факторов: мощности помех, расстояние между источниками помех, длины волн, параметров среды распространения. На рисунке 6 представлена схема возможного влияния помех на нормальную работу радиоэлектронного средства.

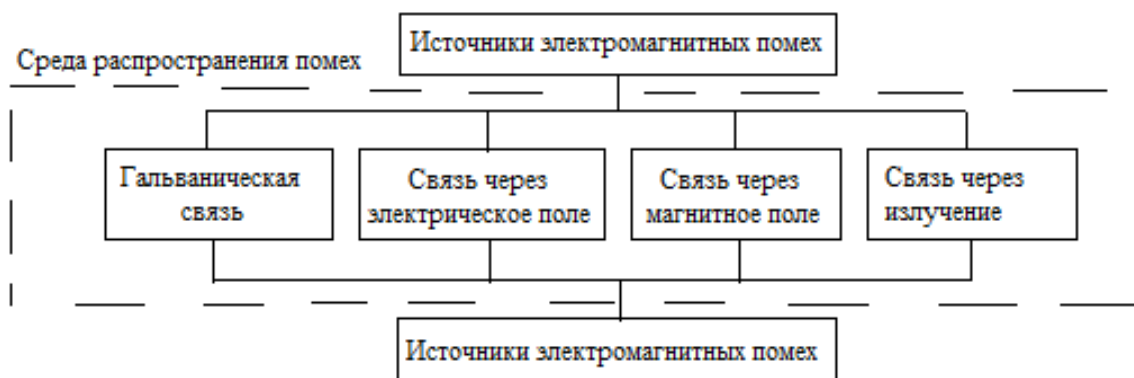


Рис. 6. Обобщенная схема возможного влияния электромагнитных помех на радиоэлектронные средства

Fig. 6. A generalized scheme of the possible effect of electromagnetic interference on radio electronic equipment

Влияние источников помех на другие устройства может быть вызвано наличием общих элементов в электрических цепях. Стоит обратить внимание, что воздействие помех на радиоэлектронные средства может проявляться за счет изменения энергопотребления. Авторы приводят пример, что при включении какого-либо мощного устройства меняются условия работы различных радиоэлектронных средств из-за изменения напряжения электропитания и возникающих при этом переходных процессах.

Источники помех можно разделить на функциональные и нефункциональные. Нефункциональные источники – это электрический транспорт, сварочное оборудование, проводные кабели и т.д. Их главная особенность, что электромагнитные волны, создающие помеху, не участвуют в процессах приема/передачи информации, т.е. не содержат полезного сигнала. Функциональные источники – это радио- и телепередатчики, которые излучают электромагнитные волны через передающие антенны в окружающую среду в целях передачи информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день проблема обеспечения электромагнитной совместимости является одной из главных задач современной радиотехники. Акцент заключается в том, что проблема обеспечения электромагнитной совместимости проникает в большинство существующих направлений радиотехники, она устанавливает взаимные связи между ними, образуя иерархическую структуру. Проблема электромагнитной совместимости решается путем комплексного подхода, что является необходимостью и особенностью этого направления.

Также в работе была затронута тема электромагнитного излучения и электромагнитного мониторинга. Защита от электромагнитного излучения на сегодняшний день имеет огромное значение. Их соответствие к санитарным нормам и соблюдение простых правил с систематическим мониторингом среды обитания позволит не допустить превышение норм предельно допустимых условий и не получить неприятных проблем, связанных со здоровьем.

Список литературы

1. Алгоритм работы буферного устройства АТМ-коммутатора с параллельной настройкой. Барабанова Е.А., Мальцева Н.С., Барабанов И.О. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. №1. С. 97-103.
2. Брацук А.А., Иванова Л.А., Яншина Э.Р. Зависимость величины электромагнитного излучения мобильных телефонов от марки производителя и года выпуска / Молодой ученый, №22 (109). С. 127-130.

3. В.И. Мордачев. Электромагнитная нагрузка на территорию, создаваемая электромагнитными излучениями базовых станций сотовой связи. – Доклады БГУИР, №6(68).
4. Гигиеническая оценка электромагнитных полей, создаваемых радиостанциями сухопутной подвижной связи, включая абонентские терминалы спутниковой связи. Методические указания (МУК 4.31676-03)-М., Госкомсанэпиднадзор России, 2003 г.
5. Гигиеническая оценка коллективной и индивидуальной электромагнитной нагрузок, создаваемой мобильными средствами связи. Методические рекомендации. –М., Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.
6. Гичев Ю.П., Гичев Ю.Ю. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека/ Аналитический обзор. Серия «Экология», Вып. 52. – Новосибирск, 1999. С. 12-26.
7. Гришко А.К., Юрков Н.К., Кочегаров И.И. Методология управления качеством сложным систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» - 2014. Т.2. С. 377-379.
8. Думанский Ю.О., Сердюк А.Н., Лось И.П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. – Киев, Здоровье, 1975.
9. Ермолаев В.А., Юрков Н.К., Романенко Ю.А. Риски отказов сложных технических систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» - 2014. Т.1. С. 46-49.
10. Измерение электромагнитных полей персональных подвижных систем сотовой связи. Методические указания (МУК 4.3.2501-09)
11. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. Б.П. Хромого. – М.: Радио и связь, 2006.
12. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц. Методические указания (МУК 4.3.1167-02 10), - М., Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2002. С. 80.
13. Пасько В.В., Шевченко П.П., Карпов С.М., Яценко И.А. Воздействие электромагнитного излучения мобильного телефона на нервную систему человека. Успехи современного естествознания, 2014, №6, С. 54-55.
14. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи» от 1 июня 2003 г.
15. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях».
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)» от 8 мая 1996 г.
17. Юрков Н.К. системный подход к организации жизненного цикла сложных технических систем// Надежность и качество сложных систем: Научно-практический журнал. 2013, №1. С. 27-35.
18. Юрков Н.К., Андреев П.Г., Жумабаева А.С. «Проблема обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств». Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2015, том 1. С. 201-203.
19. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем // Надежность и качество сложных систем – 2013. №4. С. 75-79.
20. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В. Особенности разработки макромоделей надежности сложных электронных систем // Труды международного симпозиума «Надежность и качество» - 2014. Т.1. С. 101-102.

References

1. Algorithm of the buffer device operation of the ATM switch with parallel tuning. Barabanova E.A., Malcea N.S., Barabanov I.O. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. 2012. №1. Pp. 97-103.
2. Bratsuk A.A., Ivanova L.A., Yanshina E.R. Dependence of the electromagnetic radiation of mobile phones on the manufacturer's brand and year of production / Young Scientist, No. 22 (109). Pp. 127-130.
3. V.I. Mordachev. Electromagnetic load on the territory created by electromagnetic radiation from cellular base stations. – Reports of BSUIR, No. 6(68).
4. Hygienic assessment of electromagnetic fields created by land mobile radio stations, including satellite terminals. Methodical instructions (MUK 4.31676-03) - M., State Committee for Sanitary and Epidemiological Supervision of Russia, 2003.

5. Hygienic assessment of collective and individual electromagnetic loads created by mobile communications. Guidelines. - М., Federal Center of the State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2002.
6. Gichev Yu.P., Gichev Yu.Yu. Influence of electromagnetic fields on human health / Analytical review. Series "Ecology", Iss. 52. – Novosibirsk, 1999. P. 12-26.
7. Grishko A.K., Yurkov N.K., Kochegarov I.I. Methodology of Quality Management of Complex Systems // Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality" 2014. Vol. 2. P. 377-379.
8. Dumansky Yu.O., Serdyuk A.N., Los I.P. Influence of electromagnetic fields of radio frequencies on the person. – Kiev, Health, 1975.
9. Ermolaev V.A., Yurkov N.K., Romanenko Yu.A. Risks of failure of complex technical systems // Proceedings of the international symposium "Reliability and quality" 2014. Vol.1. Pp. 46-49.
10. Measurement of electromagnetic fields of personal mobile systems of cellular communication. Methodical instructions (MUK 4.3.2501-09)
11. Metrology, standardization and measurement in communication technology: Textbook for high schools / Ed. B.P. Lame. – Moscow: Radio and Communication, 2006.
12. Determination of the energy flux density of the electromagnetic field in the locations of radio facilities operating in the 300 MHz - 300 GHz frequency range. Methodical instructions (MUK 4.3.1167-02 10), - М., Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Russian Ministry of Health. 2002. P. 80.
13. Pasko V.V., Shevchenko P.P., Karpov S.M., Yashchenko I.A. The effect of electromagnetic radiation on a mobile phone on the human nervous system. The successes of modern natural science, 2014, No. 6, pp. 54-55.
14. SanPiN 2.1.8 / 2.2.4.1190-03 "Hygienic requirements for the location and operation of land mobile radio communications" dated June 1, 2003.
15. SanPiN 2.2.4.1191-03 "Electromagnetic fields in production conditions.
16. SanPiN 2.2.4 / 2.1.8.055-96 "Electromagnetic radiation of the radio frequency range (EMR RF)" dated May 8, 1996.
17. Yurkov N.K. system approach to the organization of the life cycle of complex technical systems // Reliability and quality of complex systems: Scientific and Practical Journal. 2013, №1. Pp. 27-35.
18. Yurkov N.K., Andreev P.G., Zhumabaeva A.S. "The problem of ensuring electromagnetic compatibility of radioelectronic facilities". Proceedings of the international symposium "Reliability and Quality", 2015, volume 1. P. 201-203.
19. Yurkov N.K., Zatytkin A.V., Polesskiy S.N., Ivanov I.A., Lysenko A.V. Information technology of multifactor reliability of complex electronic systems // Reliability and quality of complex systems – 2013. №4. Pp. 75-79.
20. Yurkov N.K., Zatytkin A.V., Polesskiy S.N., Ivanov I.A., Lysenko A.V. Features of development of macromodels of reliability of complex electronic systems // Works of the international symposium «Reliability and quality» 2014. T.1. Pp. 101-102.

Джанаев Саид Абдул-Басирович, магистрант второго курса направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Алишева Альбина Ерсайновна, магистрант второго курса направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Цыгута Анна Николаевна, магистрант второго курса направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Dzhanaev Said Abdul-Basirovich, second-year master's degree student "Infocommunication technologies and communication systems"

Alisheva Albina Ersainovna, second-year master's degree student "Infocommunication technologies and communication systems"

Tsyguta Anna Nikolaevna, second-year master's degree student "Infocommunication technologies and communication systems"

УДК 621.391.6:621.31

DOI: 10.18413/2518-1092-2018-3-1-53-57

Архипов С.Н.
Кузнецов А.В.

**ОПТИЧЕСКАЯ КОММУТАЦИЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ПРОВОДИМОСТИ МАССИВА СВЕТОВОДОВ
В УСТРОЙСТВАХ КОЛЛИМИРУЮЩЕГО ТИПА**

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

e-mail: arhipovservnik@gmail.com, kvaa77@mail.ru

Аннотация

Для реализации фотонной сети необходимо обеспечить наличие компонентов, включая и коммутационные системы, способных обрабатывать только оптические сигналы. Преобразование оптического сигнала в электрический и обратное преобразование допустимо только в источнике и приемнике. На сегодняшний день основной проблемой в создании полностью оптических сетей остается создание соответствующих оптических коммутаторов. В данной статье предложен подход, описывающий принцип коммутации оптических потоков на основе изменения проводимости массива световодов.

Ключевые слова: коммутация оптических потоков; массив световодов; проводимость световода; распределение мощности; амплитудно-фазовое распределение.

UDC 621.391.6:621.31

Arhipov S.N.
Kuznetsov A.V.

**OPTICAL COMMUTATION BASED ON THE CHANGE
OF AN OPTICAL FIBER ARRAY CONDUCTIVITY
IN COLLIMATE TYPE DEVICES**

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

e-mail: arhipovservnik@gmail.com, kvaa77@mail.ru

Abstract

To realize a photon network, functioning components and commutating systems capable of processing optical signals, are essential. The transformation of an optical signal into an electrical one as well as its reverse takes place in a signal source or its receiver. Up to the present, the main problem in constructing of all-optical networks is the lack of appropriate optical switchboards. The present work describes the way of optical flows commutation based on the changing of an optical fiber array conductivity.

Keywords: optical flow commutation; optical fiber array; conductivity of an optical fiber; power distribution; amplitude-phase distribution.

ВВЕДЕНИЕ

Научно-технический прогресс на рубеже XX–XXI веков способствовал революционным изменениям в области информатизации всех сторон жизни людей. Человечество пришло к осознанию того, что именно информационная сфера его деятельности сегодня определяет уровень социально-политического, экономического и культурного развития общества. В области государственного, военного и финансово-экономического управления информация стала таким же стратегическим ресурсом, как материалы и энергия. От эффективности организации процессов сбора, использования и защиты информации зависит жизнеспособность предприятий и организаций, корпораций и целых государств.

В России бурными темпами развиваются корпоративные и ведомственные информационные инфраструктуры. Постоянно повышаются требования по устойчивости и безопасности информационного обмена в них.

Способствуют построению современных высокопроизводительных телекоммуникационных систем успехи в области вычислительной техники и достижения оптических технологий передачи информации. С каждым новым поколением компьютеров совершенствуются возможности по обработке и представлению информации. Применение средств оптической связи способствует увеличению количества и качества предоставляемых инфокоммуникационных услуг.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным направлением реконструкции сетей связи является переход к технологии мультиплексирования по длине волны (*Wave Division Multiplexing, WDM*), которая обеспечивает мультиплексирование множества длин волн в одном волокне. Системы *WDM* и более совершенные *Dence WDM (DWDM)* увеличивают пропускную способность путем распределения входящих оптических сигналов по определенным длинам волн и последующего мультиплексирования этих сигналов в виде единого цифрового потока в одном волокне.

Внедрение технологии *DWDM* является важнейшим шагом на пути построения полностью оптических транспортных сетей, получивших название фотонных сетей. Фотонная сеть является сетью связи, в которой информация передается только в форме оптического сигнала.

Для реализации фотонной сети необходимо обеспечить наличие компонентов, включая и коммутационные системы, способных обрабатывать только оптические сигналы. Преобразование оптического сигнала в электрический и обратное преобразование допустимо только в источнике и приемнике. На сегодняшний день основной проблемой в создании полностью оптических сетей остается создание соответствующих оптических коммутаторов.

Прогрессом в этой области можно считать проект группы исследователей из лаборатории *Laboratoire Kastler Brossel-LKB* (Париж, Франция), которые 23 сентября 2016 года опубликовали работу [1], описывающую возможность создания «атомного зеркала» путем позиционирования холодных атомов цезия в оптоволокне. В экспериментальной установке ученые добились отражения 75% падающих фотонов от конструкции из 2000 атомов. Исходя из условий отражения Вульфа-Брегга, атомы были расположены в интерференционную конструкцию с помощью одномерных бозонных волноводов [2].

Воспользовавшись предлагаемой технологией фильтрации становится возможно описать пассивный элемент, обеспечивающий возможность коммутации оптических сигналов без их преобразования в электрический вид.

В качестве прототипа пассивного элемента используется микро-опто-электро-механическая система (*Micro-Opto-Mechanical Systems, MOEMS*), выполняющая сложные операции со световым лучом: полное отражение, дифракция, пространственная ориентация. Основным элементом в данном элементе служит зеркало (система зеркал), выполняющее отражение луча и его перенаправление за счет изменения своего положения в пространстве. Совместная работа нескольких зеркал приводит к возможности обеспечить вывод оптического луча на различные выходы, режим коммутации. Выполнение условий согласования выхода *MOEMS* и торца приемного световода обеспечивает фильтрацию [3]. Таким образом, формирование «атомных зеркал» в качестве коллимирующих элементов [4], управление их формой и расстоянием между атомами, а так же проводимостью приемных световодов, позволит реализовать элемент, выполняющий коммутацию оптического сигнала. При этом в качестве управляющего сигнала выступает дополнительный луч, формирующий дипольную ловушку для холодных атомов.

Вне зависимости от способа обработки оптических потоков, мощность, поступающая в нагрузку оптической решетки, состоящей из N световодов определяется суммой мощностей от каждого из световодов с учетом его весового коэффициента или другими словами – коэффициента

деления. В свою очередь, коэффициент деления определяется объективными условиями обработки, т.е. конструктивным решением самой облучающей решетки, местом ее установки и распределением комплексных коэффициентов возбуждения световодов – амплитудно-фазовым распределением с учетом коэффициентов связи между световодами, в том числе по типам волн (модам), как между световодами, так и в одиночном световоде.

Очевидно [5], распределение мощности на выходе сумматора группы элементов (световодов) оптической решетки, задействованной для выделения оптического потока заданной длины волны имеет вид:

$$F(\theta, \xi) = \sum_{n=1}^N W_n(\lambda, \theta, \xi), \quad \text{где} \quad W_n(\lambda, \theta, \xi) = \sum_{p=1}^N \left(1 - |\Gamma_p(\lambda, \theta, \xi)|^2\right); \quad (1)$$

$W_m(\lambda, \theta, \xi)$ – весовой коэффициент световода (n -го канала); $\Gamma_p(\lambda, \theta, \xi)$ – коэффициент отражения p -го световода (элемента группы световодов) при формировании n -го пространственного направления, определяемого углами (θ, ξ) сферической системы координат в зависимости от длины волны (λ) обрабатываемого оптического потока. В свою очередь, коэффициент отражения световода определяется через приведенную проводимость световода $Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)$ известным соотношением [6, 7]:

$$|\Gamma_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)|^2 = \left| \frac{1 - Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)}{1 + Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)} \right|^2. \quad (2)$$

Приведенная проводимость одиночного световода $Y_{pmn}(\lambda, \theta, \xi)$ выражается через амплитуды падающей A_{pmn}^h и отраженной B_{pmn}^h от его раскрыва волн обрабатываемого оптического потока [6, 8]:

$$Y_{pmn} = \frac{A_{pmn}^h - B_{pmn}^h}{A_{pmn}^h + B_{pmn}^h}. \quad (3)$$

Таким образом, для получения критерия алгоритма обработки оптических потоков с использованием оптической решетки необходимо получить соотношение, определяющее приведенную проводимость световода оптической решетки с учетом коэффициентов взаимной связи между ее элементами и типами волн в каждом из элементов и между ними.

Пренебрегая высшими модами (типами волн) на том основании, что вклад высших типов волн в проводимость оптического световода незначителен и составляет величины не более 2% по модулю и 1,6 % по фазе, как для одиночного световода, так и входящего в систему световодов, получим:

$$Y_{10} = \frac{(A_{101}^h - B_{101}^h)}{(A_{101}^h + B_{101}^h)} = \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a} \left[\frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{110110}^I - D_{110110}^I \right] + \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a (A_{101}^h + B_{101}^h)} \times \\ \times \sum_{p=2}^N (A_{10p}^h + B_{10p}^h) \left[\frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{110p10}^I - D_{110p10}^I \right]. \quad (4)$$

Для произвольного световода с номером p' , входящего в оптическую решетку из N световодов, соотношение (4) запишем в виде:

$$Y_{p'10} = \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a} \left[\frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{p'10p'10}^I - D_{p'10p'10}^I \right] + \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a (A_{10p'}^h + B_{10p'}^h)} \times$$

$$\times \sum_{p=1, (p \neq p')}^N (A_{10p}^h + B_{10p}^h) \left[\frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{p'10 p10}^I - D_{p'10 p10}^I \right]. \quad (5)$$

При идентичности исполнения оптических световодов и их расположения в системе – оптической решетке, а также распределения полей в световодах $(\psi_{ax}^e \psi_{by}^h \psi_{ax'}^{e'} \psi_{by'}^{h'})$ для $C_{p'10 p10}^I$ и $(\psi_{by}^h \psi_{ax'}^{e'} \psi_{by'}^{h'})$ для $D_{p'10 p10}^I$ из (5) получим:

$$Y_{p'10} = \frac{1}{i 4 \gamma_{10} \delta_{10}^h a} \left[\frac{\gamma_{10}^2 a}{\pi} C_{p'10 p10}^I - D_{p'10 p10}^I \right] \left[1 + \frac{\sum_{p=1, (p \neq p')}^N (A_{10p}^h + B_{10p}^h)}{(A_{10p'}^h + B_{10p'}^h)} \right]. \quad (6)$$

Очевидно, $Y_{p'10}$ определяется комплексным суммарным полем, наводимым в раскрывах световодов оптической решетки. Первый множитель (6) зависит от электрических размеров световода и является постоянным коэффициентом на фиксированной длине волны; второй зависит от структуры оптической решетки, ее геометрии и определяется коэффициентами взаимной связи между элементами для учитываемого типа волны; третий определяет реакцию световода на соотношение распределения амплитуд и фаз падающей и отраженной волн в остальных элементах оптической решетки.

В соотношении (5) единственным сомножителем, который может быть подвергнут вариативному изменению в процессе управления величиной мощности на выходе оптической решетки или группы ее элементов без механического изменения конструктивного исполнения, является третий – сомножитель, зависящий от соотношения комплексных амплитуд полей в элементах и определяемый амплитудно-фазовым распределением возбуждения оптической решетки с учетом коэффициентов взаимной связи между световодами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный подход позволяет описать принцип коммутации на основе изменения проводимости приемных световодов определяемый амплитудно-фазовым распределением возбуждения оптической решетки. Устройство использующее данный принцип коммутации позволит выполнять перераспределение оптических потоков в высокоскоростных оптических сетях без выполнения преобразования оптический сигнал – электрический и обратное.

Список литературы

1. Corzo, V. Большое брэгговское отражение от одномерных цепей захваченных атомов вблизи Наноразмерного волновода / Corzo Neil V., Baptiste Gouraud Ritsch // Physical review vol. 117, Iss. 13 – Published 23 september 2016
2. Horak, P. Quantum Description of light-pulse scattering on a single atom in waveguides / Peter Domokos, Peter Horak, Helmut Ritsch // Physical review A vol. 65, Iss. 3 – Published 1 march 2002
3. Архипов, С.Н. Алгоритм пространственной коммутации на основе модового взаимодействия в оптических устройствах коллимирующего типа / Архипов С.Н., Чистяков С.В., Безручко В.В. // Том 8, сборник научных трудов 8ой межведомственной конференции Академии ФСБ России, тезисы докладов-Москва 2014. с.12-21.
4. Arkhipov, S.N. Efficiency indices of spatial signal processing in mirror-type collimating systems / Arkhipov S.N., Ermishin G.A., Sakhonchik V.D. // Telecommunication and Radio Engineering volume 72, number 2. – New York (Connecticut), 2013. – pp. 125-138.
5. Воскресенский, Д.И. Автоматизированное проектирование антенн и устройств СВЧ. Учебное пособие для вузов / Воскресенский Д.И., Кременецкий С.Д., Гринев А.Ю., Котов Ю.В. – М.: Радио и связь, 1988. – 240с.
6. Семенов, А.А. Теория электромагнитных волн / Семенов А.А. – М.: Изд. МГУ, 1968. – 347 с.

7. Марков, Г.Т. Возбуждение электромагнитных волн / Марков Г.Т., Чаплин А. Ф. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 296 с.
8. Вольман, В.И. Техническая электродинамика / Вольман В.И., Пименов Ю.В. – М.: Связь, 1977. – 486 с.
9. Величко, В.В. Основы инфокоммуникационных технологий. Катунин Г.П., Шувалов В.П. / под редакцией профессора Шувалова В.П., учебное пособие для вузов, 2009. с. 361-419.
10. Губанова Л.А., Константинова Ю.А. Оптические технологии. Учебно-методическое пособие – СПб: Университет ИТМО, 2018. – 62 с.

References

1. Corzo, V. Large Bragg Reflection from One-Dimensional Chains of Trapped Atoms Near a Nanoscale Waveguide / Corzo Neil V., Baptiste Gouraud Ritsch // Physical review vol. 117, lss. 13 – Published 23 September 2016.
2. Horak, P. Quantum Description of light-pulse scattering on a single atom in waveguides / Peter Domokos, Peter Horak, Helmut Ritsch // Physical review A vol. 65, lss. 3 – Published 1 march 2002.
3. Arhipov, S.N. The algorithm reaches the prostate on the basis of the mods interactions in optical collimating devices of the type/ Arkhipov S.N., Chistykov S.V., Bezruchko V.V. // Volume 8, the collected scientific papers of the 8th inter-departmental conference of the Academy of the FSB of Russia, abstracts of Moscow, 2013. – pp. 125-138.
4. Arkhipov, S. N. Efficiency indices of spatial signal processing in mirror-type collimating systems / Arkhipov S.N., Ermishin G.A., Sakhonchik V.D. // Telecommunication and Radio Engineering volume 72, number 2. – New York (Connecticut), 2013. – pp. 125-138.
5. Voskresenskiy, D.I. Computer-aided design of antennas and microwave devices. Textbook for high schools / Voskresenskiy D.I., Kremeneskiy C.D., Grinev A.U., Kotov U.V. - M.: Radio and communication, 1988.–240 p.
6. Semenov, A.A. The theory of electromagnetic waves / Semenov, A.A. – M.: Izd. Moscow State University, 1968. – 347 p.
7. Markov, G.T. Excitation of electromagnetic waves / Markov G.T, Chaplin A.F.– 2nd ed., pererab. I additional-M.: Radio and communication, 1983. – 296 p.
8. Volman, V.I. Technical electrodynamics / Volman V.I., Pimenov U.V. – M.: Communication, 1977. – 486 p.
9. Velichko, V.V. Basics of information and communication technologies., Velichko V.V., Katunin G.P., Shuvalov V.P., under the editorship of professor Shuvalov V.P., textbook for high schools, 2009. p. 361-419.
10. Gubanova L.A., Konstantinova U.A. Optical technology. Teaching aid-St. Petersburg: ITMO University, 2018. – 62 p.

Архипов Сергей Николаевич, кандидат технических наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации

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

Arhipov Sergei Nikolaevich, candidate of technical sciences, Academy of the Federal security service of the Russian Federation

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