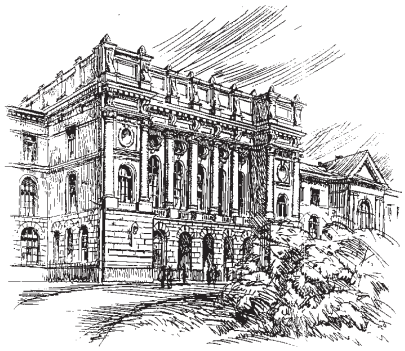
6(91)/2009



Научно-технические ведомости СПбГПУ

ИНФОРМАТИКА. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. УПРАВЛЕНИЕ

Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета

Федеральное агентство по образованию
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ СПбГПУ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Алферов Ж.И., академик РАН; *Васильев Ю.С.*, академик РАН (председатель);
Костюк В.В., академик РАН; *Лопота В.А.*, чл.-кор. РАН;
Окрепилов В.В., чл.-кор. РАН; *Рудской А.И.*, чл.-кор. РАН;
Терещенко Г.Ф., академик РАН; *Федоров М.П.*, чл.-кор. РАН;
Фортов В.Е., академик РАН.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Васильев Ю.С., академик РАН (главный редактор); *Арсеньев Д.Г.*, д-р техн. наук, профессор;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор (зам. гл. редактора);
Боронин В.Н., д-р техн. наук, профессор; *Глухов В.В.*, д-р экон. наук, профессор;
Дегтярева Р.В., д-р ист. наук, профессор; *Иванов А.В.*, д-р техн. наук, профессор;
Иванов В.К., д-р физ.-мат. наук, профессор; *Козловский В.В.*, д-р физ.-мат. наук, профессор;
Рудской А.И., чл.-кор. РАН (зам. гл. редактора); *Юсупов Р.М.*, чл.-кор. РАН.

СЕРИЯ "ИНФОРМАТИКА. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. УПРАВЛЕНИЕ"

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ СЕРИИ

Юсупов Р.М., чл.-кор. РАН – председатель;
Абрамов С.М., чл.-кор. РАН;
Воеводин В.В., чл.-кор. РАН;
Заборовский В.С., д-р техн. наук, профессор;
Козлов В.Н., д-р техн. наук, профессор;
Фотиади А.Э., д-р физ.-мат. наук, профессор;
Черноруцкий И.Г., д-р техн. наук, профессор.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Юсупов Р.М., чл.-кор. РАН – председатель;
Арсеньев Д.Г., д-р техн. наук, профессор – зам. председателя;
Бабкин А.В., д-р экон. наук, профессор – зам. председателя;
Болдырев Ю.Я., д-р техн. наук, профессор;
Давыденко М.О., технический секретарь;
Карпов Ю.Г., д-р техн. наук, профессор;
Коротков А.С., д-р техн. наук, профессор;
Макаров С.Б., д-р техн. наук, профессор;
Устинов С.М., д-р техн. наук, профессор;
Цикин И.А., д-р техн. наук, профессор;
Шабров Н.Н., д-р техн. наук, профессор.

Журнал выходит под научно-методическим руководством Российской академии наук с 1995 года.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Журнал издается в четырех сериях:
Наука и образование;
Физико-математические науки;
Экономические науки;
Информатика, телекоммуникации, управление.

Журнал зарегистрирован в Госкомпечати РФ. Свидетельство № 013165 от 23.12.94.

Подписной индекс **18390** в каталоге "Газеты. Журналы" Агентства "Роспечать".

Журнал включен в базу данных "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ), размещенную на платформе Национальной электронной библиотеки на сайте http://www.elibraru.ru.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Точка зрения редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес редакции и издательства: Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
Тел. редакции серии (812) 552-62-16.

© Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2009

Содержание

Проблемы передачи и обработки информации

Ю.Е. Сидоров, Ю.Г. Бельченко. *Непараметрический обнаружитель оптического сигнала* 7

В.И. Коржик, А.В. Зинковская, Л.Л. Пиварелис. *Точная аутентификация цифровых изображений в формате JPEG* 13

К.Г. Жуков, Д.Н. Бутусов. *Анализ и коррекция погрешности цифровых интеграторов встраиваемых систем управления* 17

К.Г. Жуков, Д.Н. Бутусов. *Реализация цифровых фильтров методом последовательного интегрирования* 26

Н.А. Кононов, С.Э. Сараджишвили. *Методика выделения цветовых слоев на отсканированных изображениях топографических карт* 35

Радиотехника, антенны, СВЧ-устройства

В. П. Акимов, С. Б. Глыбовский. *Влияние сетчатых экранов на изменение параметров вибраторных антенн* 41

В.В. Александров, Д.В. Александров, Б.В. Александров. *Высокочастотное электромагнитное излучение в техносфере и ответные реакции экосистем* 47

Н.Н. Прокопенко, Д.Н. Конев, А.И. Серебряков. *Способ повышения стабильности нуля дифференциального усилителя с местной отрицательной обратной связью в условиях температурных и радиационных воздействий* 53

В.В. Александров, Б.В. Александров. *Методика измерения и анализа спектра энергии излучения телефонных аппаратов сотовой связи* 59

Системный анализ и управление

А.В. Дьяченко, В.Г. Манжула, А.Э. Попов, С.А. Морозов. *Организационно-технологические аспекты построения системы управления распределённой образовательной структурой на основе интернет-технологий* 71

П.Н. Победаш. *Анализ модели оптимального управления реальными инвестициями на основе операционного подхода* 75

Вычислительные машины и программное обеспечение

С.В. Иванов. *Разработка и использование программного обеспечения для информационно-измерительных и телекоммуникационных систем* 81

Е.А. Макарова. *Программный комплекс для формирования базы экспериментальных данных по результатам имитационного моделирования* 85

М.В. Хлудова. *Синхронизация распределённых приложений реального времени* 88

Математическое моделирование: методы, алгоритмы, технологии

А.П. Росенко, Е.С. Клименко. *Математическое моделирование безопасности конфиденциальной информации с учётом воздействия на автоматизированную информационную систему зависимых внутренних угроз* 93

И.В. Гришин. *Алгоритм компенсации межсимвольной и межканальной интерференций в системах передачи с DMT* 100

И.Л. Бузюкова. *Модель сигнального трафика в интеллектуальных сетях связи на примере услуги "Бесплатный вызов"* ... 105

В.И. Антонов, А.И. Загайнов, А.Н. Коваленко. *Динамический тренд корреляционной размерности как характеристический показатель жизнедеятельности организма* ... 111

А.А. Ханова, И.О. Григорьева, Е.С. Потапова. *Оценка эффективности деятельности организации на основе сбалансированной системы показателей и имитационного моделирования (на примере грузового порта)* ... 119

А.Ю. Атисков, Е.Л. Евневич. *Применение теории графовых преобразований к задаче трансформации диаграмм бизнес-процессов* ... 127

Е.А. Макарова. *Динамический алгоритм взаимодействия предприятия и банка при погашении кредита* ... 132

С.М. Родина. *Использование метода нечёткой логики при оценке недвижимости (на примере жилья)* ... 135

Д.С. Коваленко. *Модель диагностической сети на основе однородной среды коммутационных агентов* ... 140

А. В. Пашковский. *Решение тестовых полевых задач в кусочно-однородной области методом стандартных элементов* ... 145

А.А. Цуприков, В.Г. Чередниченко. *Расчёт динамических нагрузок в бурильной колонне при посадке на забой* ... 149

Приборы, информационно-измерительные системы

А.В. Улыбин, С.Д. Васильков. *Использование резистивного электроконтактного метода для контроля напряжённо-деформированного состояния элементов стальных конструкций* ... 155

В.В. Федоров. *К вопросу о создании "Интеллектуального здания"* ... 161

Электроника, технологии производства материалов электронной техники

В.С. Нагорный, Н.С. Пщелко, Н.П. Сидорова. *Анализ динамики процесса формирования электроадгезионного контакта* ... 166

Информационные и телекоммуникационные технологии в образовании

Ю.А. Ветринский, В.А. Сороцкий, И.А. Цикин. *Инструментальные средства для разработки электронных образовательных ресурсов в форматах IMS и SCORM* ... 171

Ю.А. Голландцев, В.А. Дубенецкий. *О возможности применения информационных систем класса ERP для управления учебным процессом в вузе* ... 177

А.Н. Амбражей, Д.Г. Арсеньев, Н.М. Головин, В.П. Шкодырев, В.В. Таратухин. *Развитие Академических центров компетенции SAP как ресурсной и методической базы для международных научно-образовательных программ (на примере СПбГПУ)* ... 188

Р.А. Гарифуллин. *Синтез интегрального критерия оптимизации расписания занятий студентов в вузе* ... 196

Ю.А. Голландцев, В.А. Дубенецкий. *Архитектура корпоративной информационной системы управления учебным процессом в вузе* ... 199

С.Г. Фомичева, А.А. Попкова. *Коэффициент книгообеспеченности как критерий многомерного анализа обеспеченности учебного процесса* ... 206

Конференции

Ю.Б. Сениченков. *Десятая ежегодная конференция "Компьютерное моделирование-2009"* ... 221

Ю.Б. Колесов. *Особенности моделирования физических систем на основе подхода MvStudium* ... 226

В.Г. Хомченко, Е.С. Гебель, Е.В. Солонин. *Оптимизационный синтез рычажного механизма IV класса* ... 236

Г.Н. Петров. *Компьютерное моделирование механических систем в среде "Model vision"* ... 239

М.С. Скляренко, М.А. Марценюк, В.Г. Сивков. *Исследование вынужденных механических колебаний методом скоростной фотосъёмки* ... 244

Сведения об авторах ... 252

Аннотации ... 258

Contents

Problems of transfer and information processing

Y.E. Sidorov, Y.G. Belchenko. *Nonparametric optical signal detector* 7

V.I. Korzhik, A.V. Zinkovskaya, L.L. Pivarelis. *Exact authentication of digital jpeg images in JPEG format* ... 13

K.G. Zhukov, D.N. Butusov. *The analysis and correction of the error of digital integrators of built in control systems* 17

K.G. Zhukov, D.N. Butusov. *Realization of digital filters by a method of consecutive integration* 26

N.A. Kononov, S.E. Saradgishvili. *Color layers extraction method for scanned topographic maps* 35

Radio engineering, aerials, SHF devices

V. P. Akimov, S.B. Glybovskiy. *Properties of wire antennas above a grid screen* 41

V.V. Aleksandrov, D.V. Aleksandrov, B.V. Aleksandrov. *High-frequency electromagnetic radiation in the technosphere and responses of ecosystems* 47

N.N. Prokopenko, D.N. Konev, A.I. Serebryakov. *The method of improving zero stability of circuit of differential amplifier with a local negative feedback in the conditions of temperature and radiation effects* ... 53

V.V. Aleksandrov, B.V. Aleksandrov. *Technique of measurement and the analysis of a spectrum of energy of radiation of telephone sets of cellular communication* 59

The system analysis and management

A.V. Dyachenko, V.G. Manjula, A.E. Popov, S.A. Morozov. *Organizational-technological aspects of construction of the control system of the distributed educational structure on the basis of internet technologies* 71

P.N. Pobedash. *An analysis of optimal control problem of real investment by operational approach* 75

Computers and the software

S.V. Ivanov. *Development and usage of the software for information-measuring and telecommunication systems* 81

E.A. Makarova. *Software-based complex for experimental data base formation on the basis of simulation results* 85

M.V. Khludova. *Synchronization of distributed real-time applications* 88

Mathematical modelling: methods, algorithms, technologies

A.P. Rosenko, E.S. Klimenko. *Mathematical modelling of safety of the confidential information in view of influence on the automated information system of dependent internal threats* 93

I.V. Grishin. *Intersymbol and interchannel interference cancellation algorithm in communication with DMT* ... 100

I.L. Buzyukova. *Signaling traffic model in intelligent networks on a service example "The Free Call"* 105

V.I. Antonov, A.I. Zagaynov, A.N. Kovalenko. *Dynamic trend of the correlation dimension as a characteristic exponent of vital activity* 111

A.A. Khanova, I.O. Grigorieva. *An estimation of efficiency of activity of organization on the basis of the balanced scorecard and imitating modeling (on an example of cargo port)* 119

A.Y. Atiskov, E.L. Evnevich, A.D. Sergeev, I.I. Alexanders. *Towards to using algebraic graph transformation for translating business-process diagrams* ... 127

E.A. Makarova. *Dynamic algorithm of interaction of the enterprise and bank at credit repayment* ... 132

S.M. Rodina. *Using of the method of fuzzy logic at the real estate estimation (on the housing example)* ... 135

D.S. Kovalenko. *Model of the diagnostic network on the basis of the homogeneous environment of commutative agents* ... 140

A.V. Pashkovsky. *Standard element method in solving the modeling field tasks in the piecewise homogeneous medium* ... 145

A.A. Tsouprikov, V.G. Cherednichenko. *The calculation of the dynamic loads in boring pillar when boarding on the bottomhole* ... 149

Devices, information-measuring systems

A.V. Ulybin, S.D. Vasilkov. *Applying a resistance electrocontact testing for stress-strain state testing of steel constructions elements* ... 155

V.V. Fedorov. *To a question on creation "The intellectual building"* ... 161

Electronics, technologies of producing the materials of electronic technics

V.S. Nagorniy, N.S. Pshchelko, N.P. Sidorova. *Dynamics of anodic bonding process formation* ... 166

Information and telecommunication technologies in education

Yu.A. Vetrinsky, V.A. Sorotsky, I.A. Tsikin. *The instrumental tools for IMS and SCORM electronic educational recourses creating* ... 171

Y.A. Gollandzev, V.A. Dubeneckii. *About ERP-class information systems' application possibility for educational process management* ... 177

A.N. Ambrajei, D.G. Arseniev, N.M. Golovin, V.P. Shkodyrev, V.V. Taratoukhine. *Developing of sap academic competence centres in as resources and educational base for international scientific and educational programs (SPbSPU case)* ... 188

R.A. Garifullin. *Syntheses of common optimization criterion of the automated system of university student subject scheduling* ... 196

U.A. Gollandcev, V.A. Dubeneckii. *University educational process management corporate information system's architecture* ... 199

S.G. Fomitcheva, A.A. Popkova. *Book provision factor as the multidimention analysis criteria to suplies of the scholastic process* ... 206

Conference

Yu.B. Senichenkov. *10th annual international conference "Modeling and simulation 2009"* ... 221

Yu.B. Kolesov. *Features of modelling of physical systems on the basis of approach MvStudium* ... 226

V.G. Khomchenko, E.S. Gebel, E.V. Solonin. *Optimizational sinthesis of IV class linkages* ... 236

G.N. Petrov. *Numerical simulations of mechanical systems using "Model Vision" environment* ... 239

M.S. Skljarenko, M.A. Martsenjuk, V.G. Sivkov. *Forced mechanical oscillations study based on high-speed photography* ... 244

About the authors ... 252

Abstracts ... 258

УДК 621.396.969.181.34

Ю.Е. Сидоров, Ю.Г. Бельченко

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Обнаружение сигнала общепринято трактовать как статистическую задачу с априорной неопределенностью, выражающейся в том, что ряд параметров, а иногда и вид функции распределения шумов $F_0(x)$ и смеси сигнала с шумом $F_1(x)$ неточно известны и могут изменяться в процессе наблюдения. В этих условиях классические алгоритмы обнаружения могут оказаться неэффективными [1–3].

Один из путей преодоления априорной неопределённости состоит в разработке адаптивных алгоритмов, структура и параметры которых могут изменяться в соответствии с результатами анализа входных данных. В тех случаях, когда неизвестным или изменяющимся является сравнительно легко контролируемый параметр сигнала или шума, удаётся преодолеть априорную неопределённость в результате подстройки (адаптации) параметров обнаружителя в ходе наблюдения. Задача адаптации обнаружителя существенно усложняется, когда неизвестны несколько параметров или вид функций распределения $F_0(x)$ и $F_1(x)$. Поэтому такие алгоритмы оказываются весьма сложными и плохо реализуемыми для работы в реальном масштабе времени. Тем не менее, если ограничить круг помех, воздействующих на приёмник, такой алгоритм можно синтезировать.

Другой путь преодоления априорной неопределённости состоит в разработке алгоритмов, нечувствительных или слабо чувствительных к статистическим характеристикам сигналов и шумов [1–3].

В связи с этим в последнее время в задачах обнаружения сигналов всё чаще привлекают внимание непараметрические методы. Статистический метод называется непараметрическим, если его применение не предполагает знания функционального вида распределений сигналов и шумов. Обнаружитель принято называть непараметрическим, если при отсутствии сигнала (наличии только шума) распределение вероятностей его решающей статистики не зависит от распределения и параметров шума. Это значит, что такой обнаружитель обеспечивает постоянную вероятность ложного обнаружения независимо от статистических характеристик шума. Качество обнаружителя определяется двумя показателями – вероятностью ложного обнаружения (ложной тревоги) α и вероятностью пропуска полезного сигнала β (или вероятностью правильного обнаружения $1 - \beta$). Поэтому задача стабилизации на заданном уровне хотя бы одного из этих показателей (например, α) при изменении помеховой обстановки весьма важна [1].

Характерная особенность задачи обнаружения сигналов в оптическом диапазоне заключается в том, что обнаружение ведётся в условиях априорной неопределённости, когда отсутствуют сведения о вероятностных распределениях и статистических характеристиках сигналов и помех или (и) имеется сильная зависимость этих распределений от различных факторов (турбулентности атмосферы, помеховой обстановки, метеорологических условий, времени года и т. д.), точный учёт которых не представляется возможным [4]. Кроме того, реальные вероятностные распределения могут существенно отличаться от своих теоретических моделей, в расчете на которые ведется приём сигналов. Наконец, нестационарность приводит к изменениям распределений и их параметров.

В этих условиях качество обнаружения может существенно отличаться от расчётного. Для обеспечения гарантированного уровня ложных тревог приходится сильно завышать порог

обнаружения, что приводит к ухудшению характеристик обнаружения сигнала.

Применение непараметрической процедуры обнаружения оптического сигнала позволяет существенно повысить надёжность обнаружения.

Ранговые решающие процедуры

Непараметрическое обнаружение характеризуется свойством инвариантности вероятности ложной тревоги по отношению к виду и параметрам распределения помехи. В то же время такие обнаружители незначительно уступают по мощности (вероятности обнаружения) классическим, а при изменении вида распределения помехи, как правило, превосходят классические, которые при этом утрачивают свою оптимальность. Среди непараметрических тестов наиболее распространены знаковые и ранговые [1–3].

Знаковый тест является одним из наиболее простых непараметрических тестов. Его статистика основана на учёте полярностей (знаков) независимых наблюдений $x_1, x_2, ..., x_n$:

$$S = \sum_{i=1}^{n} h(x_i),\ h(x_i) = \begin{cases} 1, x_i > 0; \\ -1, x_i < 0. \end{cases} \qquad (1)$$

Для принятия решения статистика S испытывается на порог C, определяемый по заданной вероятности ложной тревоги α из соотношения $P(S > C/H_0) = \alpha$.

Более мощными оказываются ранговые тесты, которые, в отличие от знакового, учитывают не только факт, но и степень отклонения элементов исследуемой выборки от некоторого уровня или элементов опорной выборки.

Рангом r_i элемента выборки называется порядковый номер этого элемента в вариационном ряду, составленном из элементов x (или x и y), расположенных в порядке возрастания от меньшего к большему.

Переход от выборочных значений x и y к их рангам приводит к потере части информации. Однако при увеличении объёма наблюдений растет статистическая связь между x, y и r_i, поэтому эффективность ранговых правил может вплотную приближаться к оптимальным [2].

Один из наиболее эффективных и простых в реализации непараметрических критериев – ранговый критерий Вилкоксона, статистика S которого определяется суммой рангов отсчетов x испытуемой выборки в вариационном ряду, составленном из отсчётов опорной (помеховой) выборки y и испытуемой x [5].

Ранговая статистика S имеет вид:

$$S = \sum_{i=1}^{n} r_i = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} h(x_i - y_{ij}), \qquad (2)$$

где

$$h(x_i - y_{ij}) = h(x_i) = \begin{cases} 1, x_i > y_{ij}; \\ 0, x_i < y_{ij}. \end{cases}$$

Для принятия решения статистика S испытывается на порог C, определённый по заданной вероятности ложного обнаружения α. Если $S \le C$, выносится решение об отсутствии сигнала (справедливости гипотезы H_0), если $S > C$ – о наличии сигнала (справедливости альтернативы H_1).

При справедливости гипотезы H_0 отсчёты испытуемого и опорных каналов принадлежат одной генеральной совокупности, поэтому величины x и y распределены одинаково, и случайная величина $\sum_{j=1}^{m} h_{ij}$ принимает значения от нуля до m с равной вероятностью, независимо от распределения помехи. Распределение статистики S – суммы величин $\sum_{j=1}^{m} h_{ij}$ – также не зависит от распределения помехи, что и обеспечивает при выбранном пороге C постоянство вероятности ложной тревоги.

Стоит отметить, что хотя критерий Вилкоксона не является оптимальным в классе ранговых правил, при определённых видах сигналов и помех его эффективность приближается к оптимальной [1–3].

Описание алгоритма обнаружения

Рассматривается задача обнаружения сигнала в оптической локационной системе. Поиск сигнала производится путем анализа области его возможного появления, которая разбивается на $m \ge 2$ интервалов разрешения (по углу, времени и дальности). Наблюдаются опорная (шумовая) и информационная (сигнальная) выборки, составленные из отсчётов – количества фотоэлектронов, относящихся к помехе и сигналу. Законы распределения фотоэлектронов в выборках априори неизвестны.

Рассмотренную ранее модель рангового обнаружителя можно использовать применительно к оптическому диапазону [5]. Полагаем, что приём сигнала осуществляется энергетическим приёмником, состоящим из фоточувствительного элемента, счётчика числа фотоэлектронов и порогового устройства, работающим по критерию Неймана – Пирсона по последовательности отсчётов. Число фотоэлектронов, зарегистрированных счётчиком в испытуемом канале x, сравнивается для образования ранговой статистики S с числом фотоэлектронов опорных (помеховых) каналов $y_1, y_2, ..., y_m$. Учитывая возможность получения в лазерных системах очень узких диаграмм направленности, можно использовать для формирования опорной выборки пространственные каналы (угловое разрешение). При этом задачу обнаружения сигнала на выходе одного из приёмных каналов можно решать с использованием для формирования ранговой статистики сигналов других каналов приёмника.

Распределение "сигнальных" и "помеховых" фотоэлектронов часто описывается сверткой различных комбинаций распределений Пуассона, Бозе – Эйнштейна и отрицательно-биномиального [4, 5]. Конкретный вид распределения зависит от многих параметров сигнала, помехи, отражающей поверхности и т. д. Отрицательно-биномиальное распределение наиболее общее и при определенных значениях параметров переходит в распределение Пуассона и Бозе – Эйнштейна. Вероятность эмитации k фотоэлектронов за время T для этого закона выражается формулой [5]

$$P(k,T)=\frac{\Gamma(T\Delta w+k)}{\Gamma(T\Delta w)\Gamma(k+1)}\left(\frac{Q}{1+Q}\right)^k\left(\frac{1}{1+Q}\right)^{T\Delta w}, \quad (3)$$

где $T\Delta w$ – число степеней свободы (w – ширина полосы частот поля), характеризующее скорость флуктуаций; $Q=\dfrac{Q'}{T\Delta w}$ – среднее число фотоэлектронов, эмитируемых сигналом (Q_c) или помехой (Q_p) на одну степень свободы (Q пропорционально интенсивности облучения); Q' – среднее число фотоэлектронов за время наблюдения T; $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция. При $T\Delta w = 1$ распределение (3) переходит в Бозе – Эйнштейна, а при $T\Delta w >> 1$ – в распределение Пуассона.

Распределение фотоэлектронов для суперпозиции шумового и сигнального полей определяется сверткой [5]:

$$P_{c+p}(k,T)=\sum_{i=0}^{k}P_c(i,T)\,P_p(k-i,T). \quad (4)$$

Шумовые и сигнальную выборки, а также результаты вычисления рангов при каждом наблюдении удобно представить в матричной форме [1]:

$$\begin{vmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} & x_1 \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} & x_2 \\ . & . & . & . & . \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_n & x_n \end{vmatrix} \rightarrow \begin{vmatrix} r_i \\ r_2 \\ . \\ r_n \end{vmatrix}$$

Воспользовавшись рассмотренным ранговым критерием Вилкоксона (сумма рангов), запишем решающую функцию:

$$\varphi(x)=\begin{cases}1, S\ge C\\ 0, S<C,\end{cases} \quad (5)$$

где $S=\sum_{i=1}^{n}r_i$.

Алгоритм моделирования

При моделировании обнаружителя, работающего согласно правилу (5), использовался метод статистических испытаний (также известный как метод Монте-Карло). Его можно определить как метод моделирования случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений [6]. Метод Монте-Карло показал свою плодотворность при решении и других радиотехнических задач, например [7].

Моделирование осуществлялось в пакете Matlab 7.0.1. Для получения значений порога C также применялся метод статистических испытаний (Монте-Карло). Были заданы желаемые значения вероятности ложной тревоги α, для которых итерационным методом вычислялись соответствующие значения порога C. При этом моделировался случай, когда на вход обнаружителя поступают только шумовые отсчёты, а отсчёты полезного сигнала отсутствуют. В этом случае любое срабатывание обнаружителя априори

является ложным. Подсчитав количество обнаружений и поделив его на общее количество испытаний, получим вероятность ложной тревоги. Изменяя на каждом шаге значение C, эксперимент повторяется до тех пор, пока полученная вероятность ложной тревоги не станет равной (с наперёд заданной точностью) желаемому значению $P_{лт}$.

Для того чтобы убедиться в одном из основных свойств рангового обнаружителя – инвариантности вероятности ложной тревоги α к распределению помехи на входе – был смоделирован случай, когда шумовые отсчёты распределены в соответствии с законом Бозе – Эйнштейна ($T\Delta w_p = 1$, в то время как в остальных случаях параметры распределения задавались $T\Delta w_p = T\Delta w_c = 10$). Были получены значения порога C для различного количества интервалов разрешения m (при $Q_p = 4$, $n = 25$), приведенные в таблице.

Результаты моделирования

$T\Delta w_p = T\Delta w_c = 10$			$T\Delta w_p = 1$; $T\Delta w_c = 10$		
m	C	α	m	C	α
10	199	$2 \cdot 10^{-5}$	10	199	$2{,}1 \cdot 10^{-5}$
15	287	$2 \cdot 10^{-5}$	15	287	$2{,}1 \cdot 10^{-5}$
20	374	$2 \cdot 10^{-5}$	20	374	$2{,}1 \cdot 10^{-5}$

Приведенные значения получены при $N = 2 \cdot 10^5$ испытаниях. Можно сделать вывод, что обнаружитель действительно инвариантен к распределению помехи на входе, так как имеющиеся погрешности гораздо меньше погрешности метода Монте-Карло (которая составляет $1/\sqrt{N}$, что для $N = 2 \cdot 10^5$ даёт $7 \cdot 10^{-4}$).

Блок-схема алгоритма моделирования приведена на рис. 1.

Перечислим основные этапы работы алгоритма:

а) формирование матрицы сигнально-шумовых и шумовых отсчётов размером $m \times n$;

б) вычисление ранга r_i ($i = \overline{1,n}$) каждого сигнально-шумового отсчёта;

в) формирование ранговой статистики S путем суммирования рангов r_i;

г) сравнение S с порогом C;

д) повторение этапов $a - г$ N раз;

е) вычисление вероятности правильного обнаружения;

ж) повторение этапов $a - e$ для всех значений отношения сигнал/шум.

Расчёт вероятностных характеристик. Результаты моделирования работы данного обнаружителя в пакете Matlab 7.0.1 представлены на рис. 2.

Зависимость вероятности правильного обнаружения при различных значениях вероятности ложной тревоги показана на рис. 3.

Моделировался случай, когда $m = 10$, $T\Delta w_p = T\Delta w_c = 10$.

Рассмотренный обнаружитель оптического локационного сигнала обеспечивает стабильную вероятность ложной тревоги при любых изменениях распределения помехи. Это ещё раз подтверждает инвариантность ранговых правил к априорно неизвестным параметрам и законам распределений помех.

Исследование помехоустойчивости рангового обнаружителя оптического сигнала с помощью метода статистического имитационного моделирования (метода Монте-Карло) показало:

вероятность правильного обнаружения сильно зависит от количества интервалов разрешения. Это означает, что при проектировании подобных устройств целесообразно (в разумных пределах) увеличивать объём опорной выборки путем увеличения количества каналов;

вероятность правильного обнаружения уменьшается при уменьшении вероятности ложной тревоги (так как уменьшение α приводит к увеличению порога C, по результатам сравнения с которым и выносится решение о наличии или отсутствии полезного сигнала). Тем не менее обнаружитель позволяет достигнуть весьма малых значений α ($\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ и ниже), что делает целесообразным использование его в системах, требующих уменьшения вероятности ложной тревоги при одновременном сохранении высоких значений вероятности правильного обнаружения.

Данный обнаружитель хорошо подходит для реализации на элементах дискретной микроэлектроники, а полученные результаты моделирования позволяют дать прогноз эффективности работы реальных решающих систем ещё на стадии их проектирования.

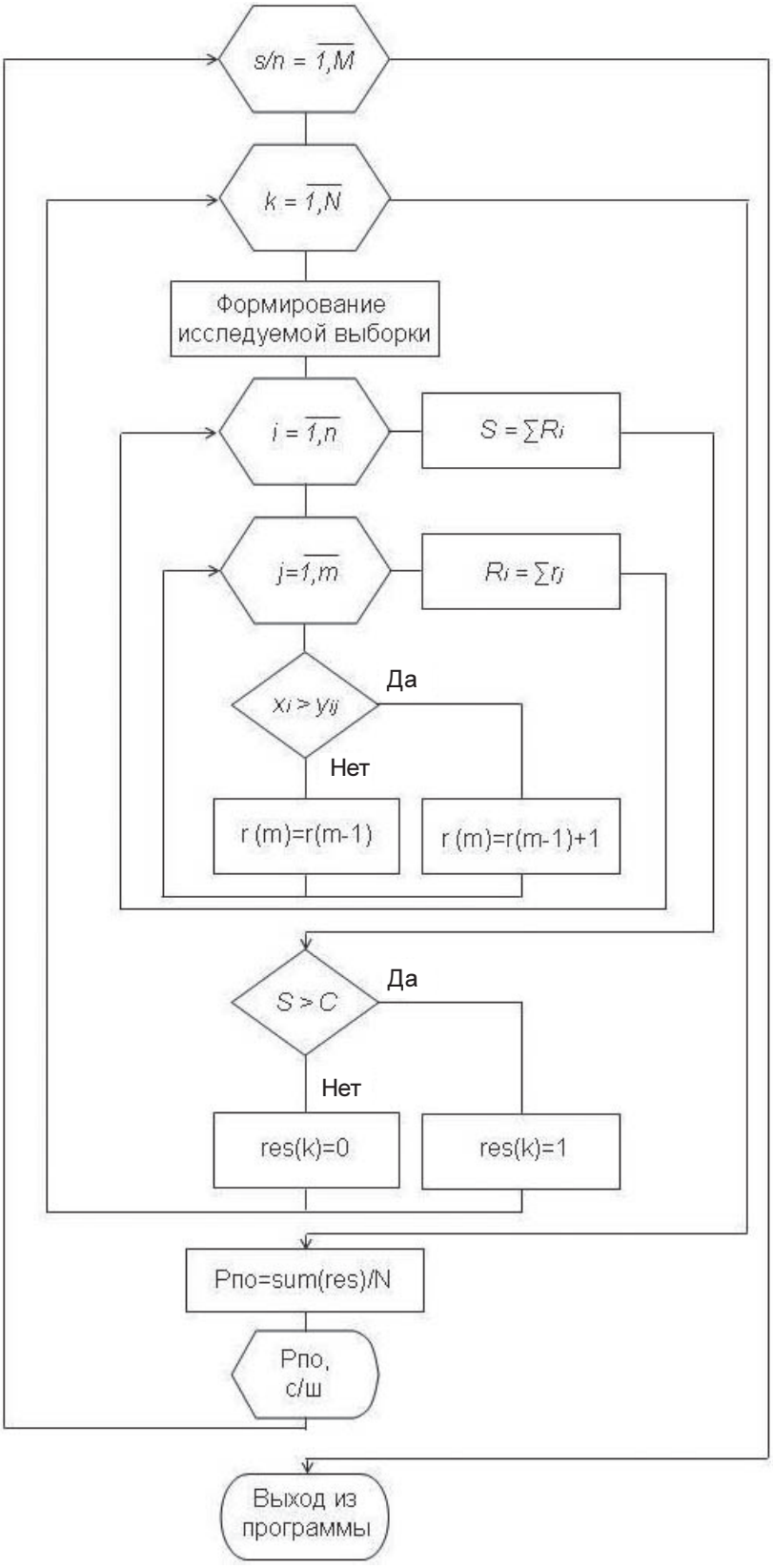


Рис. 1. Блок-схема алгоритма моделирования

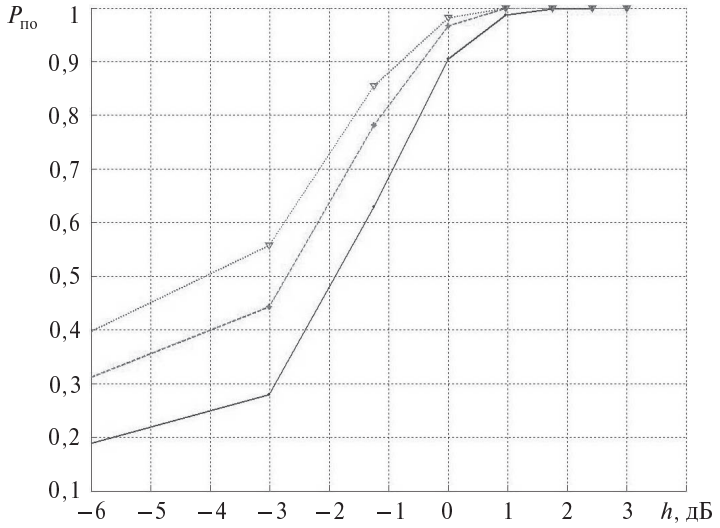


Рис. 2. Вероятность правильного обнаружения при $\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$
m = 10 (——●——), m = 15 (– –●– –), m = 20 (- - -▽- - -)

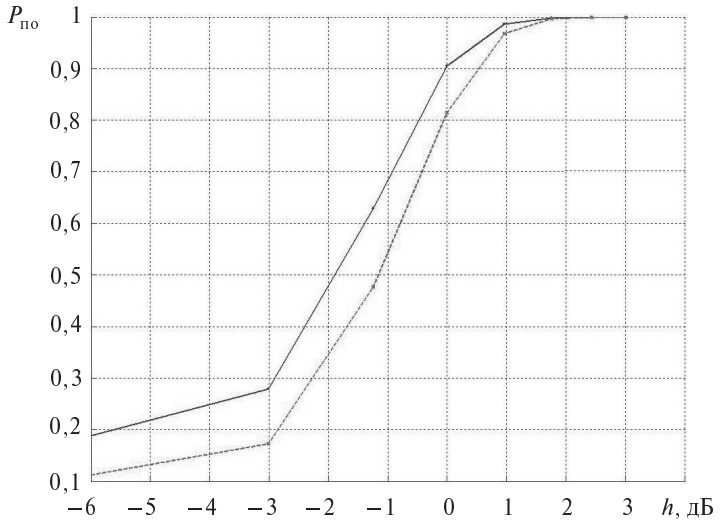


Рис. 3. Вероятность правильного обнаружения
при различных значениях α
$\alpha = 2 \cdot 10^{-5}$ (——●——); $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ (– –●– –)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Акимов П.С., Бакут П.А., Богданович В.А.** и др. Теория обнаружения сигналов / Под ред. П.А. Бакута. М.: Радио и связь. 1984. 440 с.

2. **Акимов П.С., Евстратов Ф.Ф., Захаров П.С.** и др. Обнаружение радиосигналов / Под ред. А.А. Колосова. М.: Радио и связь. 1989. 288 с.

3. **Сидоров Ю.Е.** Статистический синтез автоматизированных решающих систем при априорной неопределенности. М.: Воениздат. 1993. 231 с.

4. **Шереметьев А.Г.** Статистическая теория лазерной связи. М.: Связь. 1971. 264 с.

5. **Акимов П.С., Кубасов А.Н.** Ранговое обнаружение оптического сигнала // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1977. Т. 20. № 7. С. 29–35.

6. **Ермаков С.М.** Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М.: Наука. 1975. 472 с.

7. **Сидоров Ю.Е., Бельченко Ю.Г.** Оптимальный обнаружитель узкополосного сигнала с неизвестной несущей частотой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2009. № 3. С. 61–68.

УДК 681.3

В.И. Коржик, А.В. Зинковская, Л.Л. Пиварелис

ТОЧНАЯ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ФОРМАТЕ JPEG

В различных областях жизнедеятельности существуют ситуации, в которых необходимо организовать хранение всевозможных изображений и работу с ними, а кроме этого отслеживать целостность их хранения и передачи. Примерами являются хранение рентгеновских снимков в больничном банке данных, фотографий с места преступлений (в банке данных милиции) и др.

Для уточнения задачи обеспечения целостности изображений рассмотрим осуществление санкционированного доступа пользователя к требуемому изображению, например, с целью его просмотра. В данном случае пользователь информируется системой о том, осуществлялось ли какое-либо изменение этого изображения в процессе его хранения, или же изображение в точности соответствует тому, что было сохранено в банке данных изначально. Методы, позволяющие определить сам факт наличия несанкционированных изменений в изображении (вплоть до одного пикселя), называются методами *точной аутентификации*. В случае если аутентификация для данного изображения не выполняется, то это говорит о том, что во время хранения изображение могло быть подвергнуто несанкционированной подмене или корректировке. Чтобы это проиллюстрировать, можно привести такой пример: если на фотографиях военной аэрофотосъёмки видны какие-то укрытия противника, орудия и т. п., то небольшой корректировкой можно убрать с изображения важные объекты, причём смысл, который несёт в себе данная фотография, изменится в корне.

Задача обеспечения целостности изображений не является сама по себе новой. Традиционным подходом к её решению служат криптографические методы, такие, как, например, использование *цифровой подписи* [1]. Но все подобные методы обладают общим недостатком: они требуют осуществлять хранение дополнительных данных, помещаемых рядом с самим изображением (в последнем случае – это данные цифровой подписи). Встраивание таких данных в само изображение, например, в качестве заголовка, приведет к искажению существующего стандартного формата, что затруднит чтение и просмотр такого изображения стандартными средствами, а также может привести к потерям данных при конвертации [5].

В связи с описанными трудностями, достаточно привлекательно выглядит идея использования для этого технологии *стеганографии*, а именно – использования так называемых *цифровых водяных знаков* (ЦВЗ) [3]. Данная технология позволяет осуществить вложение информации в *покрывающее сообщение* (ПС), в роли которого может выступать изображение. Таким образом, применяя технологию ЦВЗ, можно осуществить вложение аутентификатора непосредственно в само изображение.

Однако, идя по такому пути, мы тут же сталкиваемся с противоречиями. С одной стороны, процедура вложения неизбежно изменяет изображение. С другой стороны, если мы говорим о точной аутентификации, это означает, что любые изменения в изображении являются недопустимыми [3]. Если хотя бы один бит в изображении будет искажен, то верификация будет отрицательной. Кроме того изображение с вложенным аутентификатором может даже зрительно отличаться от первоначального вида, что делает его трудноузнаваемым.

Существуют такие методы вложения ЦВЗ, которые, хотя и изменяют покрывающее изображение, но после выполнения процедуры аутентификации возвращают его к первоначальному виду. Эти методы называются *восстанавливаемой аутентификацией*. Можно предполагать, что их использование решит упомянутое выше первое противоречие.

Решение второго противоречия можно также ожидать в рамках выбранного метода, проанализировав, насколько искажается изображение сразу после вложения в него дополнительной информации. На самом деле, если выбранный метод обеспечивает полное восстановление изображения,

то не существует проблемы его просмотра. Желательно, чтобы выбранный метод обеспечивал малые искажения сразу после вложения, т. к. это позволит сэкономить вычислительные ресурсы при просмотре и поиске.

В данной статье рассматривается точная аутентификация в формате JPEG, т. к. этот формат наиболее распространён для хранения изображений. Неоспоримые преимущества JPEG перед другими форматами для хранения графики – малый размер сохраняемых файлов. Например, возьмём фотографию размером 800×600 в формате BMP и "упакуем" её в WinRAR-архив с самой высокой степенью компрессии. Возьмём эту же картинку и переведём её в формат JPEG. По результатам сравнения размеров полученных файлов, формат JPEG всегда лидирует.

Область использования формата JPEG имеет некоторые ограничения, связанные с различием в исходном и конечном изображениях. Картинка сжимается за счёт изменения или устранения каких-то частей, которые человеческий глаз не замечает. Поэтому точная аутентификация нередко применяется и для изображений в формате BMP в тех случаях, когда необходимо сохранить точные данные об оригинале изображения. Метод точной аутентификации изображений в формате BMP рассматривался ранее [2].

Описание метода точной аутентификации цифровых изображений в формате JPEG

Приведем описание метода погружения и извлечения ЦВЗ в цифровое изображение в формате JPEG, следуя, в основном, идеям [4].

Метод погружения ЦВЗ в цифровое изображение в формате JPEG показан на рис. 1.

Алгоритм погружения начинается с выделения из изображения DCT-коэффициентов, для этого в соответствии с алгоритмом JPEG применяется обратное преобразование Хаффмана. Далее процесс распараллеливается.

На одной ветви происходит выбор DCT-коэффициентов для вложения цифрового водяного знака. Из полученного массива выделяются наименьшие значащие биты (НЗБ), которые сжимаются без потерь. Это необходимо по двум причинам: для положительной верификации изображения на приёмной стороне (если информация о НЗБ DCT-коэффициентов будет потеряна, то невозможно будет правильно сформировать аутентификатор для проверки); для аутентификации информации в медицинской области, в которой необходимо высокое качество изображений.

На второй ветви из DCT-коэффициентов формируется аутентификатор. Это ключевая хэш-функция. Полученный массив поступает на "формирователь" ЦВЗ. На него же поступает и массив сжатых НЗБ, и дополнительное сообщение, если это необходимо.

В "формирователе" ЦВЗ происходит объединение трех матриц и добавление некоторой служебной информации.

Далее объединенная матрица вкладывается в НЗБ выбранных ранее DCT-коэффициентов. После обратного преобразования Хаффмана получается изображение в формате JPEG с вложенным ЦВЗ.

Метод извлечения ЦВЗ в цифровое изображение в формате JPEG показан на рис. 2.

Алгоритм извлечения начинается с выделения из изображения DCT-коэффициентов, в которые было произведено вложение. Из НЗБ полученных DCT-коэффициентов извлекается ЦВЗ.

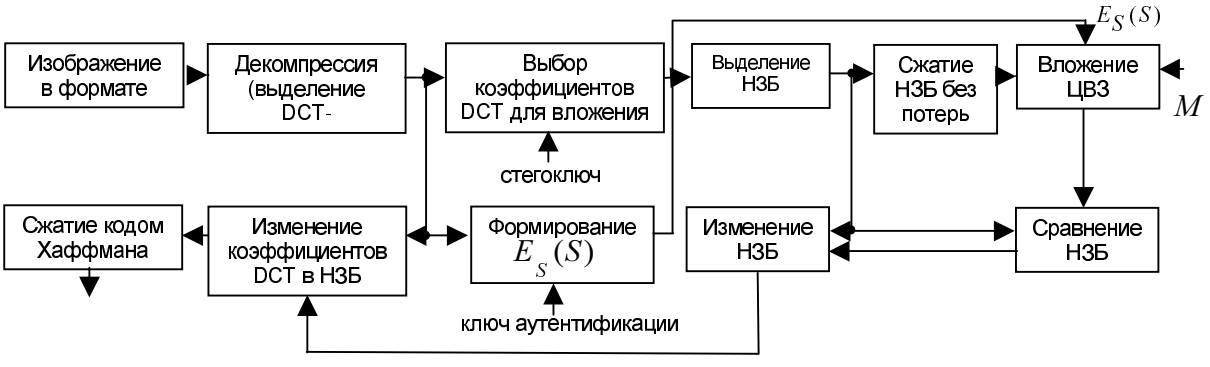


Рис. 1. Метод погружения ЦВЗ в цифровое изображение в формате JPEG

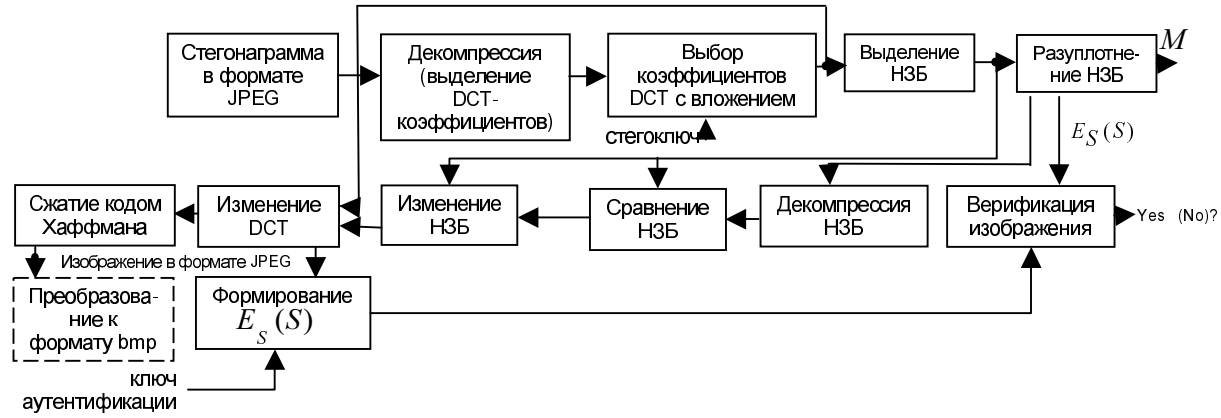


Рис. 2. Метод извлечения ЦВЗ в цифровое изображение в формате JPEG

Далее алгоритм разделяется на три ветви.

В первой ветви происходит выделение НЗБ, их декомпрессия и замена НЗБ DCT-коэффициентов, в которые был вложен ЦВЗ. Таким образом, получается новое изображение в JPEG формате идентичное исходному изображению до вложения. Во второй ветви полученные DCT-коэффициенты отправляются на блок, формирующий аутентификатор. Туда же поступает ключ. Полученный хэш сравнивается с извлеченным массивом и принимается решение о неизменности изображения. В третьей ветви из ЦВЗ извлекается дополнительное сообщение, если оно было вложено.

Так как в данной статье рассматривается метод точной аутентификации, то при изменении хотя бы одного бита изображения верификация будет отрицательной.

На основе рассмотренного алгоритма погружения ЦВЗ в изображения формата JPEG было разработано программное обеспечение (ПО).

В программе имеется возможность выбора типа операции: вложение или извлечение ЦВЗ, установки правила вложения, а также изменения количества и номера DCT-коэффициентов, в которые будет производиться вложение. Номер DCT-коэффициентов соответствует значению пространственной частоты коэффициентов.

Экспериментальные исследования метода точной аутентификации цифровых изображений в формате JPEG

Были проведены экспериментальные исследования программы вложения ЦВЗ в цифровые изображения в формате JPEG.

В программе имеется возможность варьировать DCT-коэффициенты, в которые производится вложение, за счёт чего можно проводить эксперименты.

В ходе эксперимента были взяты оригинальные изображения в формате JPEG с показателем качества от 100 % до 20 % с шагом 10 %, в которые производилось вложение ЦВЗ в компоненту *Cr* с различными номерами DCT-коэффициентов.

На основе результатов экспериментов были сделаны выводы, чем выше качество исходного изображения, тем менее заметны искажения, вносимые погружением ЦВЗ, и чем выше пространственная частота DCT-коэффициентов, выбираемых для вложения, тем меньше искажения. Второй вывод объясняется тем, что у DCT-коэффициентов с высокой пространственной частотой небольшие значения и преобладают нули, т. к. именно эти частоты при квантовании делятся на большие значения таблицы квантования. Поэтому НЗБ этих коэффициентов сжимаются лучше, а значит, вектор ЦВЗ будет меньше по размеру.

Некоторые результаты эксперимента приведены в таблице.

Следует отметить, что объём файла до вложения и после существенно не различаются. По данным таблицы построим график зависимости количества освобожденных бит от пространственной частоты DCT-коэффициентов для вложения и показателя качества изображения на рис. 3.

В соответствии с графиком на рис. 3 можно сделать вывод, что с увеличением качества изображения уменьшается количество освобожденных бит. Это объясняется тем, что таблицы квантования для высоких показателей качества

Результаты эксперимента

Название	Объём, Кб								
	До вложения	После вложения	Максимальное кол-во вкладываемых бит	После вложения	Максимальное кол-во вкладываемых бит	После вложения	Максимальное кол-во вкладываемых бит	После вложения	Максимальное кол-во вкладываемых бит
		Вложение в DCT							
		коэффициенты с 1 по 6		коэффициенты с 5 по 10		коэффициенты с 50 по 55		коэффициенты с 59 по 64	
bugs_20 %	32	37	29712	38	30688	33	40536	33	40536
bugs_50 %	55	62	24112	63	24544	56	40536	56	40536
bugs_100 %	484	489	1864	490	2464	498	9776	497	14792

имеют не очень большие величины, вследствие чего квантованные DCT-коэффициенты будут иметь меньшее количество нулей.

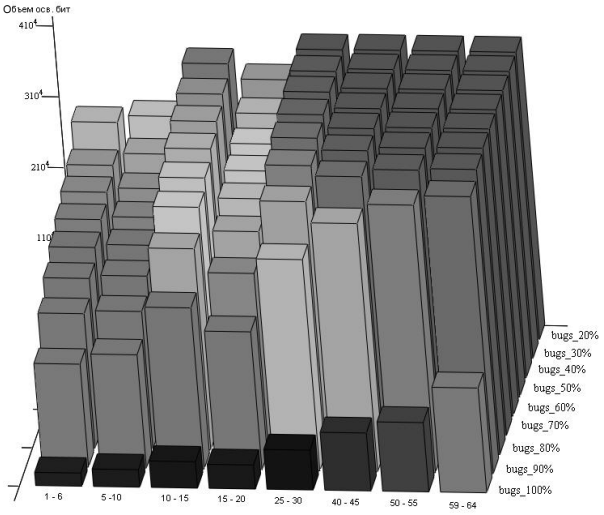


Рис. 3. Зависимость количества освобожденных бит от пространственной частоты DCT-коэффициентов для вложения

Задачей данной программы была реализация метода точной аутентификации цифровых изображений в формате JPEG. Поэтому при попытке изменить хотя бы один пиксель изображения аутентификатор должен разрушаться. Рассмотрим это на примере.

На рис. 4 показано исходное изображение с показателем качества 50 %. Далее было произведено вложение аутентификатора в изображение, результат которого показан на рис. 5. Анализируя файл с вложением, программа устанавливает, что он не искажен.

Если в файле с вложением исказить хотя бы один пиксель, то программа считает, что это измененный файл. Сам файл с одним искаженным пикселем здесь не показан, поскольку такие изменения оказываются совершенно не заметными.

При исследовании изображений с показателем качества 100 % были достигнуты те же результаты.

В данной статье исследован метод точной аутентификации, который показал хорошую эффективность при работе с изображениями в формате JPEG. Того количества информации,

Рис. 4. Исходное изображение

Рис. 5. Результат вложения аутентификатора

которое он позволяет вложить, хватает для размещения аутентификатора данного изображения, а также дополнительной информации.

Метод обладает рядом важных преимуществ:

полностью реализована задача точной аутентификации даже при искажении одного пикселя;

обеспечивает вложение достаточного количества информации;

изображение при вложении искажается очень слабо, что позволяет осуществлять его визуальное распознавание;

при определении (детектировании) вложенного ЦВЗ в данном методе ошибка не возникает в принципе;

объём файла при вложении ЦВЗ почти не увеличивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коржик В.И., Просихин В.П.** Основы криптографии: учебное пособие по специальности 210403 "Защищенные телекоммуникационные системы связи". СПб. 2008.

2. **Коржик В.И., Зинковская А.В., Луссе С.А.** Метод точной аутентификации цифровых изображений с использованием технологии цифровых водяных знаков / Вопросы защиты информации. 2008. № 1. С. 8–14.

3. **Cox I.** Digital Watermarking / Morgan–Kaufman publishers. 2002.

4. **Fridrich J., Goljan M., Du R.** Invertible Authentication Watermark for JPEG Images / ITCC 2001. Las Vegas, Nevada. April 2–4. 2001. P. 223–227.

5. **Menezes A.J.** et. al. Handbook oa Applied Cryptography. CRC Press. 1997.

УДК 658.512:004.42, 658.512:519.87

К.Г. Жуков, Д.Н.Бутусов

АНАЛИЗ И КОРРЕКЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАТОРОВ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Актуальность и существующие проблемы

Инструментальные системы графического моделирования динамических систем (Simulink, Simulation Module, SystemBuild) сегодня широко используются для модельного проектирования встраиваемых управляемых систем. Ориентация на создание прототипа системы реального времени предъявляет к таким пакетам ряд новых требований. Один из наиболее важных – требование к быстродействию и необходимой точности методов численного интегрирования (решателей) с фиксированным шагом. Пакеты используют классические методы различных порядков точности. Точные методы интегрирования (Рунге – Кутта четвёртого порядка, Адамса – Башфорта и др.) требуют значительных временных затрат для получения решения. Одним из показателей эффективности метода принято считать количество вычислений правой части дифференциальных уравнений. По этому показателю метод Рунге – Кутта четвёртого порядка уступает методам прогноза-коррекции, к которым относится метод Адамса – Башфорта. Существенный недостаток последнего заключается в необходимости выполнения так называемого "участка разгона" с применением другого численного метода. Разработка прототипа объекта управления или контроллера в петле с реальной аппаратурой (HIL) предъявляет к численному методу интегрирования, реализуемому на целевом микропроцессоре, дополнительные требования:

возможность распараллеливания процесса вычислений;

обеспечение необходимой точности получения решений в заданном частотном диапазоне при известной длине машинного слова целевого микропроцессора;

минимальные аппаратурные затраты для выполнения арифметических операций с фиксированной точкой (fixed point);

минимальный объём регистрового запоминающего устройства;

автоматическая настройка структуры прототипа;

алгоритм управления прототипом не должен приводить к усложнению вычислительного процесса;

автоматическая генерация целочисленного кода.

Перечисленным выше требованиям не удовлетворяют классические методы численного интегрирования, поэтому разработка интегрирующих структур, ориентированных на аппаратную реализацию, весьма актуальна.

В инструментальных средах MATLAB / Simulink и LabVIEW/ Simulation Module для моделирования и проектирования цифровых систем управления применяют цифровые интеграторы на основе метода прямоугольников (forward rectangular, backward rectangular) и метода трапеций (trapezoidal).

В курсах дифференциального и интегрального исчисления при оценке погрешности таких интеграторов используют аппроксимирующие полиномы (Тейлора, Ньютона, Чебышева) для представления подынтегральной функции. Погрешность метода определяется остаточным членом соответствующего ряда. В теории автоматического управления для представления подынтегральной функции применяют ряд Фурье. Точность метода при этом оценивается в частотной области.

Такие методики оценки погрешности численных интеграторов имеют существенные недостатки:

приближенный характер: находят максимальное/минимальное значение погрешности на промежутке интегрирования;

необходимость нахождения производных от подынтегральной функции;

отсутствие оценки динамики изменения погрешности;

погрешность нельзя скорректировать при заданном шаге интегрирования.

Далее рассмотрим методику получения аналитических выражений для погрешности нового цифрового интегратора *SI*-интегратора, используемого при аппаратной реализации последовательно-параллельных интегрирующих структур на основе метода последовательного интегрирования [1, 2]. Методика применима для оценки и коррекции погрешности классических цифровых интеграторов.

Метод основан на переходе от непрерывной системы к эквивалентной импульсной системе с несинхронно срабатываемыми импульсными (ключевыми) элементами. Для такой системы возможен анализ погрешности с применением модифицированного Z-преобразования [3]. Чтобы подтвердить работоспособность метода, проведем компьютерное моделирование тестового уравнения непрерывной системы, описываемой тремя однородными дифференциальными уравнениями первого порядка:

$$\begin{cases} \dfrac{dz_1}{dt} = 2z_1 + z_2 + z_3 \\ \dfrac{dz_2}{dt} = z_1 + 2z_2 + z_3 \\ \dfrac{dz_3}{dt} = 2z_1 + z_2 + 2z_3 \end{cases} \quad (1)$$

При начальных условиях $z_1(0) = -1$ и $z_2(0) = z_3(0) = 2$.

Простейший вариант реализации эквивалентной импульсной системы ($Ts = 0{,}001$ с) в виде Simulink-модели представлен на рис. 1. Графики решений приведены на рис. 2.

Импульсные элементы на входах сумматоров срабатывают с одинаковой частотой $f_0 = 1/T_0 = 1/9\,Ts$, где Ts – шаг дискретизации (Sample Time).

Для уменьшения погрешности метода необходимо коэффициенты уравнения в модели увеличить в $T_0/Ts = 9$ раз. Корректирующий множитель определяется числом членов в правых частях исходной системы.

Сравнительный анализ приближенных и аналитических решений показывает наличие погрешности. Минимальным значениям погрешности соответствуют моменты времени, кратные периодам срабатывания импульсных элементов kT_0 ($k = 0, 1, 2...50$).

Для численного интегрирования "непрерывной" Simulink-модели системы (1) был выбран метод первого порядка (метод Эйлера). Погрешности приближенных решений двух моделей практически совпадают в указанные моменты времени. Это позволяет утверждать, что метод *SI*-интегрирования является одной из модификаций метода Эйлера при одинаковых значениях шага интегрирования.

Чтобы повысить точность *SI*-метода, необходимо исследовать погрешность интегратора

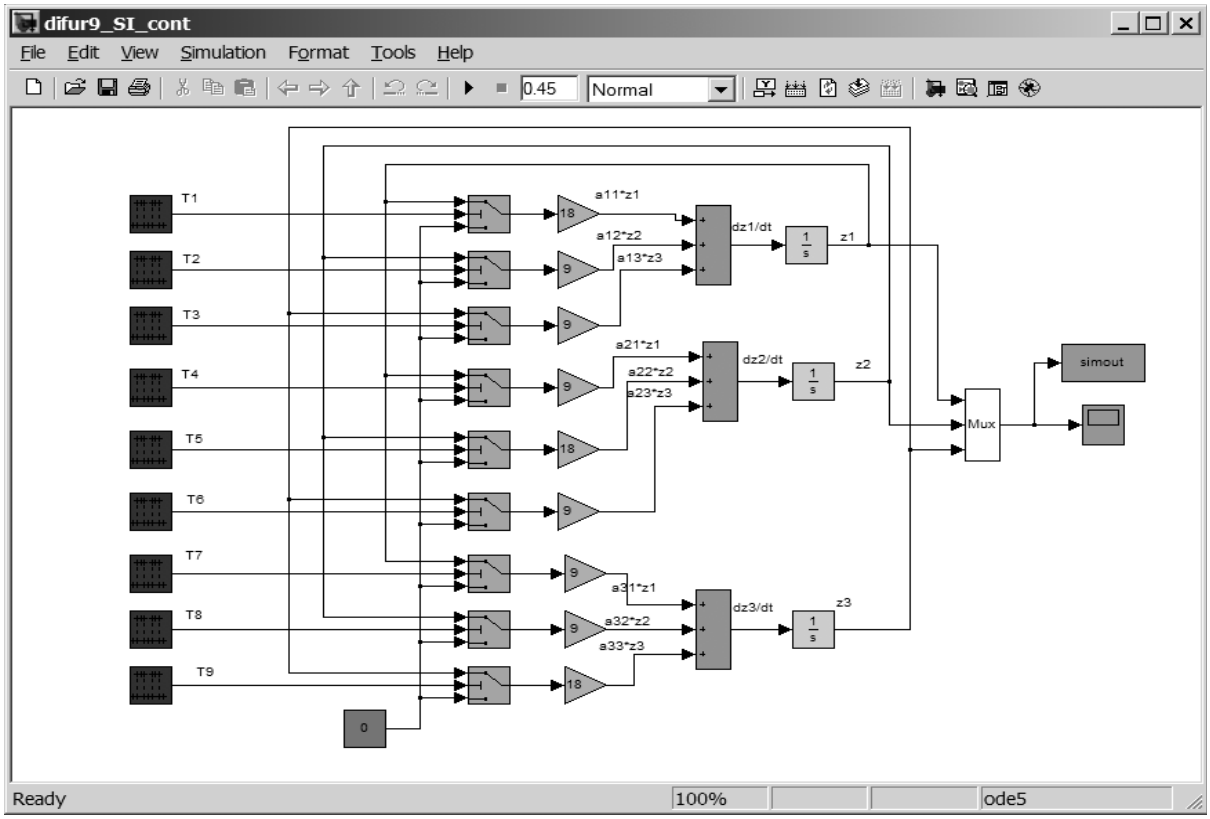


Рис. 1. Реализация эквивалентной импульсной системы для выражения (1)

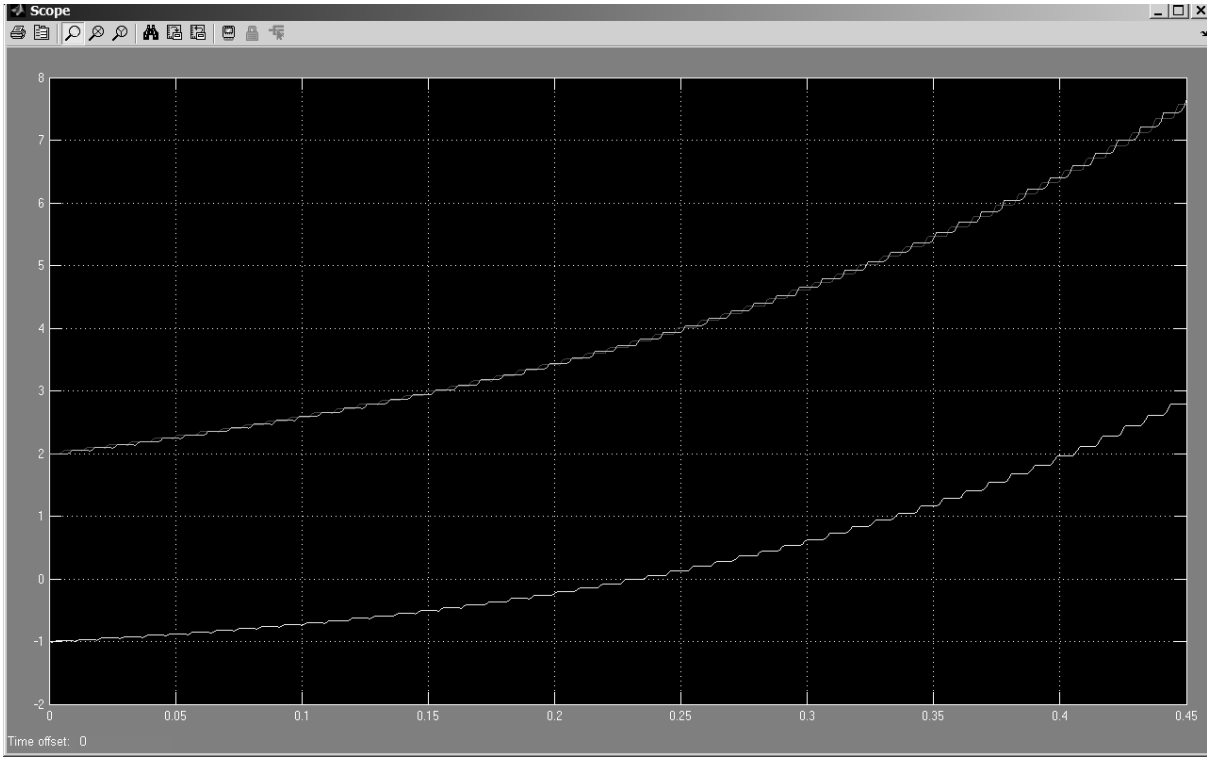


Рис. 2. Результаты моделирования

при различных входных сигналах. В работе [4] описан синтез цифрового интегратора, реализующего *SI*-метод. Дискретная передаточная функция имеет вид:

$$W_{SI}(z)=\frac{Y(z)}{X(z)}=\frac{K_I\cdot vT_0}{z-1}, \qquad (2)$$

где K_I – коэффициент усиления непрерывного интегратора; $v=Ts/T_0$ – относительная длительность последовательности управляющих импульсов с периодом T_0. Выражение (2) получено для фиксатора нулевого порядка с передаточной функцией $H_{0v}=\frac{1-e^{-\gamma T_0 s}}{S}$, где γT_0 – время замкнутого состояния импульсного элемента. Очевидно, что при увеличении коэффициента K_I в $\frac{1}{\gamma}$ раз формула (2) совпадает с передаточной функцией интегратора по методу прямоугольников с упреждением (forward rectangular)

$$W_{SI}(z)=\frac{K_I\cdot T_0}{z-1} \qquad (3)$$

Определим выходной сигнал $y[nT_0]$ интегратора (3), применяя структурную схему, представленную на рис. 3. Величина ΔT_0 определяет моменты выборки входного сигнала $r(t)$. Коэффициент запаздывания импульсного элемента Δ изменяется в пределах $0\le\Delta\le T_0$.

Используем модифицированное z-преобразование для нахождения $X(z)$. В соответствии с рис. 3 выражение для $Y(z)$ примет следующий вид:

$$Y(z)=W_{SI}(z)X(z) \qquad (4)$$

Применяя к выражению (4) обратное z-преобразование, найдем величину $y_{SI}[nT_0]$. Для оценки погрешности будем использовать абсолютную ошибку (5), представляющую собой разность между значением $y_T[nT_0]$ на выходе идеального интегратора и значением $y_{SI}[nT_0]$.

$$err[nT_0]=y_T[nT_0]-y_{SI}[nT_0]. \qquad (5)$$

Вывод аналитических выражений погрешности *SI*-интегратора

Ступенчатая функция $r(t)=AU(t)$

$$R(S)=L\{r(t)\}=\frac{1}{S};\ X(s)=R(S)e^{\Delta T_0 S}=\frac{A}{S}e^{\Delta T_0 S};$$

$$\xi_\sigma\left\{\frac{A}{S}e^{\Delta T_0 S}\right\}=\xi_\sigma\left\{\frac{A}{S}\right\}_{\sigma=\Delta}=A\frac{z}{z-1};$$

$$Y(z)=AK_I\frac{T_0}{z-1}\frac{z}{z-1};\ y_{SI}[nT_0]=\xi^{-1}\{Y(z)\};$$

$$y_{SI}[nT_0]=\xi^{-1}\left\{AK_I\frac{T_0 z}{(z-1)^2}\right\}=K_I AnT_0;$$

$$y_T(t)=K_I\int_0^t Au(t)dt=At;$$

$$y_T[nT_0]=AnT_0;$$

$$err[nT_0]=AnT_0-AnT_0=0. \qquad (6)$$

Линейно нарастающая функция $r(t)=At$

$$R(S)=L\{A(t)\}=\frac{A}{S^2};\ X(s)=\frac{A}{S^2}e^{\Delta T_0 s}$$

$$\xi_\sigma\{X(s)\}=A\xi_\sigma\left\{\frac{1}{S^2}\right\}_{\sigma=\Delta}=A\left(\frac{T_0 z}{(z-1)^2}+\frac{\Delta T_0 z}{z-1}\right);$$

$$Y(z)=K_I A\frac{T_0}{z-1}\left(\frac{T_0 z}{(z-1)^2}+\frac{\Delta T_0 z}{z-1}\right)=$$

$$=K_I AT_0\left[\frac{1}{z-1}\frac{T_0 z}{(z-1)^2}\right]+K_I A\Delta T_0\left[\frac{T_0 z}{(z-1)^2}\right];$$

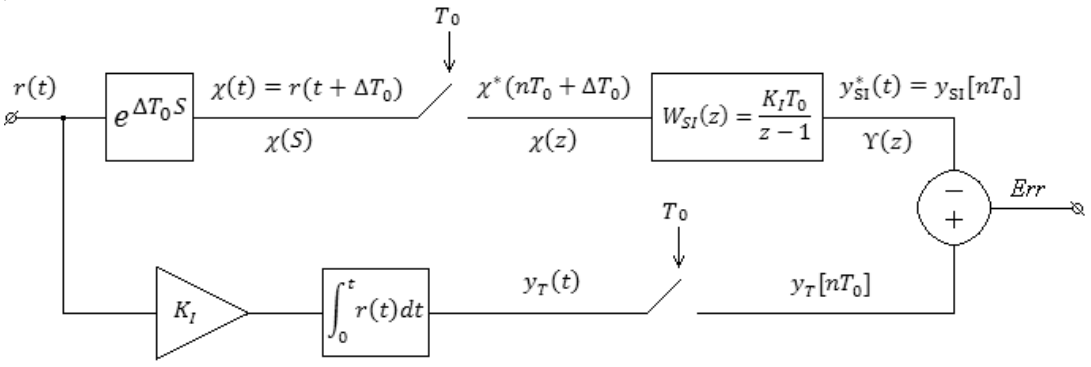


Рис. 3. Структурная схема анализа погрешности

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0 \xi^{-1}\left\{\frac{1}{z-1}\frac{T_0 z}{(z-1)^2}\right\} +$$

$$+ K_I \Delta T_0 \xi^{-1}\left\{\frac{T_0 z}{(z-1)^2}\right\}. \qquad (7)$$

Применив к первому слагаемому в выражении (7) теорему свертывания в вещественной области, найдем:

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0^2 \sum_{m=0}^{n} 1[m-1](n-m) + K_I A \Delta T_0^2 n =$$

$$= K_I A T_0^2 \sum_{m=1}^{n} (n-m) + K_I A \Delta T_0^2 n =$$

$$= K_I A T_0^2 \frac{n(n-1)}{2} + K_I A \Delta T_0^2 n,$$

где $1[m-1] \equiv 1$, при $m \geq 1$ и $1[m-1] \equiv 0$, при $m < 1$.

Окончательно будем иметь:

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A \frac{(nT_0)^2}{2} - K_I A \frac{nT_0^2}{2} + K_I A \Delta T_0^2 =$$

$$= K_I A \frac{(nT_0)^2}{2} - K_I A n T_0^2 (0{,}5 - \Delta). \qquad (8)$$

Величина погрешности при $y_T[nT_0] = K_I \dfrac{(nT_0)^2}{2}$ определяется выражением

$$err[nT_0] = K_I A n T_0^2 (0{,}5 - \Delta). \qquad (9)$$

Экспоненциальная функция $r(t) = Ae^{-\alpha t}$

$$R(S) = L\{r(t)\} = A\frac{1}{S+\alpha};\ X(s) = A\frac{1}{S+\alpha}e^{\Delta T_0 s};$$

$$\xi_\sigma\{X(s)\} = A\xi_\sigma\left\{\frac{1}{s+\alpha}\right\}_{\sigma=\Delta} = A\frac{ze^{-\alpha\Delta T_0}}{z-e^{-\alpha T_0}};$$

$$Y(z) = K_I A \frac{T_0}{z-1}\frac{ze^{-\alpha\Delta T_0}}{z-e^{-\alpha T_0}};$$

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0 \xi^{-1}\left\{\frac{1}{z-1}\frac{ze^{-\alpha\Delta T_0}}{z-e^{-\alpha T_0}}\right\} =$$

$$= K_I A T_0 \sum_{m=0}^{n} 1[m-1] e^{-a(n+\Delta-m)T_0} =$$

$$= K_I A T_0 \sum_{m=1}^{n} e^{-a(n+\Delta-m)T_0} =$$

$$= K_I A T_0 e^{-a(n+\Delta)T_0} \sum_{m=1}^{n} e^{amT_0};$$

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0 e^{-a(n+\Delta)T_0} \sum_{m=1}^{n} e^{amT_0}. \qquad (10)$$

Подставив значение $\sum_{m=1}^{n} e^{amT_0}$ из таблиц сумм [6], получим:

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0 \frac{e^{\alpha T_0(1-\Delta)}}{e^{\alpha T_0}-1}(1-e^{-anT_0}). \qquad (11)$$

После умножения числителя и знаменателя (11) на α получим:

$$y_{SI}[nT_0] = K_I \frac{A}{\alpha}(1-e^{-anT_0})\frac{\alpha T_0 e^{\alpha T_0(1-\Delta)}}{e^{\alpha T_0}-1}.$$

С учётом значения $y_T[nT_0] = K_I \dfrac{A}{\alpha}(1-e^{-\alpha nT_0})$ выражение абсолютной погрешности примет вид:

$$err[nT_0] = K_I \frac{A}{\alpha}(1-e^{-\alpha nT_0}) -$$

$$-K_I \frac{A}{\alpha}(1-e^{-aT_0})\frac{\alpha T_0 e^{\alpha T_0(1-\Delta)}}{e^{\alpha T_0}-1}. \qquad (12)$$

Для получения интегрирования сигнала $r(t) = Ae^{\alpha t}$ необходимо в выражениях (11), (12) заменить значение α на $-\alpha$:

$$err[nT_0] = -K_I \frac{A}{\alpha}(1-e^{\alpha nT_0}) +$$

$$+K_I \frac{A}{\alpha}(1-e^{\alpha T_0})\frac{\alpha T_0 e^{-\alpha T_0(1-\Delta)}}{e^{-\alpha T_0}-1}. \qquad (13)$$

Гармоническая функция $r(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$

$$R(s) = A\frac{S\cos\varphi - \omega\sin\varphi}{s^2+\omega^2};$$

$$X(s) = A\frac{S\cos\varphi - \omega\sin\varphi}{s^2+\omega^2}e^{\Delta T_0 s};$$

$$\xi_\sigma\{X(s)\} = A\xi_\sigma\left\{\frac{S\cos\varphi - \omega\sin\varphi}{s^2+\omega^2}\right\}_{\sigma=\Delta} =$$

$$= A\frac{Z^2\cos(\omega\Delta T_0+\varphi) - Z\cos[\omega T_0(1-\Delta)-\varphi]}{Z^2 - 2Z\cos\omega T_0 + 1};$$

$$Y(z) = K_I A \frac{T_0}{Z-1}\cdot$$

$$\cdot\frac{Z^2\cos(\omega\Delta T_0+\varphi) - Z\cos[\omega T_0(1-\Delta)-\varphi]}{Z^2 - 2Z\cos\omega T_0 + 1};$$

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0 \xi^{-1} \times$$

$$\times\left\{\frac{1}{Z-1}\frac{Z^2\cos(\omega\Delta T_0+\varphi)-Z\cos[\omega T_0(1-\Delta)-\varphi]}{Z^2-2Z\cos\omega T_0+1}\right\}=$$

$$= K_I A T_0 \sum_{m=0}^{n} 1[m-1]\cos[wT_0(n+\Delta+\varphi)+\varphi] =$$

$$= K_I A T_0 \sum_{m=1}^{n} \cos[wT_0(n+\Delta-m)+\varphi];$$

$$y_{SI}[nT_0] = K_I A T_0 \sum_{m=1}^{n} \cos[wT_0(n+\Delta-m)+\varphi]. \quad (14)$$

В результате трудоёмких тригонометрических преобразований выражения (14) получим

$$y_{SI}[nT_0] = K_I \frac{AT_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}}\{\sin[\omega T_0(0,5-\Delta)-\varphi]+ \quad (15)$$

$$+\sin[\omega T_0(n+0,5-\Delta]+\varphi\}.$$

Для входного сигнала $r(t) = \omega\cos(\omega t)$ ($\phi = 0$) выражение (15) принимает вид

$$y_{SI}[nT_0] = K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}}\{\sin[\omega T_0(0,5-\Delta)]+ \quad (16)$$

$$+\sin[\omega T_0(n+\Delta-0,5)]\}.$$

При $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$ входной сигнал $r(t) = -\omega\sin(\omega t)$, ($A = \omega$; $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$) и выражение (15) преобразуется к виду

$$y_{SI}[nT_0] = K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}}\{\cos[\omega T_0(n+\Delta-0,5)]- \quad (17)$$

$$-\cos[\omega T_0(0,5-\Delta)]\}.$$

Соответствующие выражения абсолютной погрешности определяются формулами

$$err[nT_0] = K_I\sin(\omega T_0) - K_I\frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}}\times \quad (18)$$

$$\times\{\sin[\omega T_0(0,5-\Delta)]+\sin[\omega T_0(n+\Delta-0,5)]\};$$

$$err[nT_0] = K_I\cos(\omega n T_0-1) - K_I\frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}}\times \quad (19)$$

$$\times\{\cos[\omega T_0(n+\Delta-0,5)]-\cos[\omega T_0(0,5-\Delta)]\}.$$

Анализ полученных формул для определения абсолютных погрешностей (6), (9), (12), (13), (18) и (19) позволяет сделать следующие выводы:

1) погрешность при интегрировании ступенчатой функции равна нулю;

2) величина погрешности зависит от коэффициента отставания импульсного элемента Δ;

3) при Δ = 0 *SI*-интегратор реализует формулу прямоугольников с упреждением (forward rectangular);

4) при Δ = 1 становится интегратором по методу прямоугольников с отставанием (backward rectangular);

5) при Δ = 0,5 погрешность (9) становится равной нулю, что свидетельствует о реализации метода прямоугольников в средней точке (midpoint rectangular);

6) значение Δ = 0,5 является для погрешностей осью симметрии: в этой точке погрешность изменяет знак;

7) интегратор по методу трапеций (trapezoidal) может быть реализован на двух параллельно включенных *SI*-интеграторах с коэффициентами $\Delta_1 = 0$ и $\Delta_2 = 1$ и усреднением полученных выходных значений;

8) *SI*-интегратор – универсален, так как может реализовать все классические методы вычисления определенных интегралов.

9) *SI*-интегратор при Δ = 0,5 более точен и эффективен, чем интегратор по методу трапеций, так как обладает в два раза меньшей погрешностью, требует единственного значения подынтегральной функции и не вносит постоянного запаздывания в вычисление выходной величины.

Такой интегратор отсутствует в библиотеках дискретных блоков инструментальных систем Simulink и Simulation Module.

В работе [5] синтезирован *T*-интегратор на основе концепции численного интегрирования с использованием теории о среднем значении. Передаточная функция *T*-интегратора включает два параметра – λ и ν, которые необходимо эмпирически подбирать, чтобы удовлетворять уравнению среднего значения. После обращения передаточной функции получается формула численного интегрирования в неявном виде. Этот факт затрудняет использование *T*-интегратора при решении дифференциальных уравнений.

При фиксированных значениях λ = 1 и ν = 0; 0,5 и 1, *T*-интегратор реализует соответственно

формулу прямоугольников с упреждением, трапеций и прямоугольников — с отставанием. При фиксированных значениях λ и ν T-интегратор не может реализовать метод прямоугольников в средней точке, который более эффективен, чем метод трапеций. Автор работы [6] впервые применил теорию систем управления для разработки численных методов интегрирования, но, к сожалению, не получил аналитических выражений для расчета значений λ и ν.

Коррекция погрешности цифровых интеграторов. Докажем, что введение корректирующих множителей позволяет сделать абсолютную погрешность цифровых интеграторов равной нулю для рассмотренных ранее входных сигналов. Другими словами, позволяет сделать абсолютно точными все классические интеграторы.

Для доказательства такого утверждения подставим в полученные выражения ошибок два симметричных относительно точки $\Delta = 0,5$ коэффициента запаздывания Δ_1 и Δ_2. Для выполнения условия симметрии необходимо, чтобы сумма

$$\Delta_1 + \Delta_2 = 1 \qquad (20)$$

Пара коэффициентов запаздывания $\Delta_1 = 0$ и $\Delta_2 = 1$ удовлетворяет условию (20).

Значение $\Delta_1 = 0$ соответствует применению метода прямоугольников с упреждением, а $\Delta_2 = 1$ – методу прямоугольников с отставанием.

Линейнонарастающая функция. В результате подстановки в (9) значений Δ_1 и Δ_2 получим следующие выражения:

$$err_{\Delta_1}[nT_0] = 0,5K_I A n T_0^2 = K_I A(0,5nT_0^2); \qquad (21)$$

$$err_{\Delta_2}[nT_0] = -0,5K_I A n T_0^2 = -K_I A(0,5nT_0^2). \qquad (22)$$

Для реализации формулы трапеций необходимо включить параллельно два прямоугольных интегратора и выходное значение умножить на коэффициент 0,5. В этом случае

$$err[nT_0] = (err_{\Delta_1}[nT_0] + err_{\Delta_2}[nT_0])0,5. \qquad (23)$$

После подстановки найденных значений err_{Δ_1} и err_{Δ_2} в (23) ошибка становится равной нулю.

Экспоненциальная функция. Обозначим в формуле (12) множитель $\dfrac{\alpha T_0 \cdot e^{\alpha T_0(1-\Delta_1)}}{e^{-\alpha T_0}-1} = K_1$ и, соответственно $\dfrac{\alpha T_0 \cdot e^{\alpha T_0(1-\Delta_2)}}{e^{-\alpha T_0}-1} = K_2$.

Тогда с целью устранения ошибки для интегратора с Δ_1 необходимо на каждом шаге интегрирования выходной сигнал умножать на величину, обратную $(1/K_1)$. Для второго интегратора корректирующий множитель имеет значение $(1/K_2)$. Для первого интегратора ($\Delta = 0$).

$$KFR = \frac{e^{\alpha T_0}-1}{\alpha T_0 \cdot e^{\alpha T_0}}; \qquad (24)$$

для второго ($\Delta = 1$)

$$KBR = \frac{e^{\alpha T_0}-1}{\alpha T_0}. \qquad (25)$$

В случае интегрирования по методу трапеций ($\Delta_1 = 0$ и $\Delta_2 = 1$)

$$KTR = \frac{2}{K_1 + K_2}. \qquad (26)$$

На рис. 4 приведен пример интегрирования экспоненциальной функции методом прямоугольников в средней точке.

Гармонический сигнал. Найдем корректирующие множители для интегратора по методу трапеций и методу прямоугольников в средней точке (рис. 4). Для этого в формулу (18) подставим значения $\Delta_1 = 0$ и $\Delta_2 = 0$:

$$err_{\Delta_1=0}[nT_0] = K_I \sin\omega n T_0 - K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \times$$

$$\times\{\sin(0,5\omega T_0) + \sin[\omega T_0(n-0,5)]\};$$

$$err_{\Delta_2=1}[nT_0] = K_I \sin\omega n T_0 - K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \times$$

$$\times\{-\sin(0,5\omega T_0) + \sin[\omega T_0(n+0,5)]\}.$$

Найдем среднее значение ошибки:

$$(err_{\Delta_1=0}[nT_0] + err_{\Delta_2=1}[nT_0])0,5 =$$

$$= \left\{ 2K_I \sin\omega n T_0 - K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \sin(0,5\omega T_0) + \right.$$

$$\left. + K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \sin(0,5\omega T_0) - \right.$$

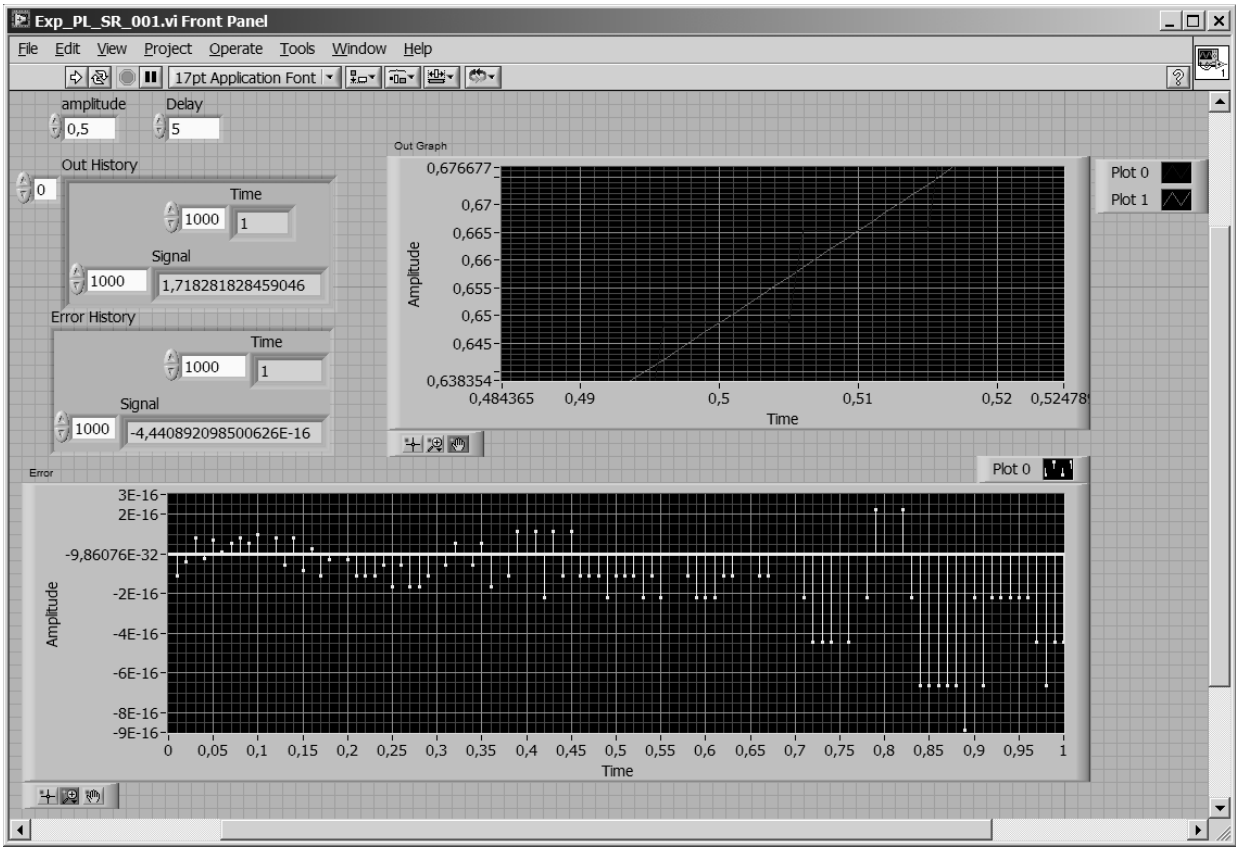


Рис. 4. Интегрирование экспоненциальной функции методом прямоугольников в средней точке ($\Delta = 0{,}5$)

$$- K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \sin[\omega T_0 (n-0{,}5)] -$$

$$- K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \sin[\omega T_0 (n+0{,}5)] \Big\} 0{,}5 =$$

$$= \Bigg\{ 2K_I \sin \omega n T_0 - K_I \frac{\omega T_0}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \times$$

$$\times \left[2\sin \omega n T_0 \cos\frac{\omega T_0}{2} \right] \Bigg\} 0{,}5 =$$

$$= K_I \sin \omega n T_0 - K_I \frac{\omega T_0 \cos\dfrac{\omega T_0}{2}}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \sin \omega n T_0;$$

$$err[nT_0] = K_I \sin \omega T_0 - K_I \frac{\omega T_0 \cdot \cos\dfrac{\omega T_0}{2}}{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}} \sin \omega T_0. \quad (27)$$

Значение погрешности (27) становится равным нулю при введении корректирующего множителя

$$KTR = \frac{2\sin\dfrac{\omega T_0}{2}}{\omega T_0 \cos\dfrac{\omega T_0}{2}}. \quad (28)$$

Для интегратора по методу прямоугольников в средней точке получим:

$$KMP = \frac{2\sin\frac{\omega T_0}{2}}{\omega T_0}. \qquad (29)$$

Для входного сигнала $r(t) = -\omega\sin\omega t$ значения корректирующих множителей остаются равными (28) и (29). Результаты проверки данных аналитических выражений приведены на рис. 5.

Для подтверждения полученных аналитических выражений создан ряд моделей в виде виртуальных приборов системы National Instruments LabVIEW. Полученные экспериментальные данные отличаются от теоретических на величины, определяющие точность представления числовых данных с плавающей точкой (Double).

Впервые полученные теоретические и экспериментальные результаты, изложенные в настоящей статье, могут быть наиболее эффективно использованы для моделирования и создания встраиваемых систем управления в реальном масштабе времени.

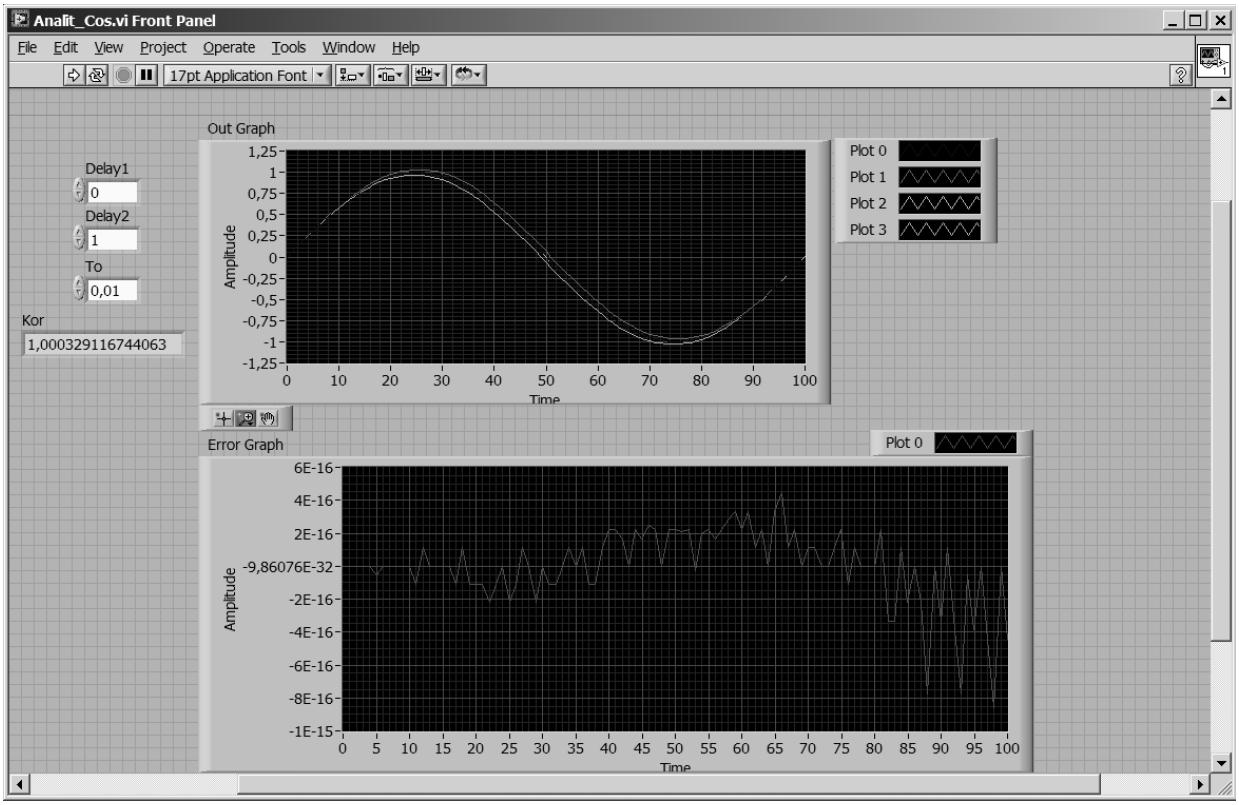


Рис. 5. Результаты проверки аналитических выражений (27), (28)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жуков К.Г.** Методы и средства реализации последовательно-параллельных интегрирующих структур: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л. 1988.

2. **Жуков К.Г.** Исследование эффективности решателей обыкновенных дифференциальных уравнений инструментальных систем моделирования // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Матер. междунар. конф. М.: РУДН. 2007.

3. **Ту Ю.Т.** Цифровые и импульсные системы автоматического управления / Под. ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение. 1964.

4. **Жуков К.Г.** Анализ погрешности цифровых интеграторов в Simulink // Проектирование научных и инженерных приложений в среде MATLAB: Тр. Всерос. науч. конф. М.: ИПУ РАН. 2004.

5. **Смит Д.** Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей. М.: Энергия. 1979.

6. **Рыжик И.М.** Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. 2-е изд. М.: ОГИЗ. 1948.

УДК 658.512:004.42, 658.512:519.87

К.Г. Жуков, Д.Н. Бутусов

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Постановка задачи

Фильтры – особо важный класс линейных стационарных систем. Строго говоря, термин "частотно-избирательный фильтр" обозначает систему, которая пропускает определенные частотные компоненты и полностью задерживает все остальные. Но в более широком смысле фильтром можно называть любую динамическую систему, меняющую определенные частоты входного сигнала. Традиционный подход к проектированию цифровых фильтров основан на преобразовании непрерывного фильтра в дискретный, обладающий необходимыми спецификациями [1].

Это разумный подход по следующим причинам. Во-первых, искусство проектирования непрерывных фильтров на данный момент является широко развитой областью знания, и, поскольку в ней уже получено большое число эффективных результатов, было бы странно ими не воспользоваться при проектировании дискретных систем. Во-вторых, многие из найденных методов проектирования непрерывных фильтров сводятся к относительно простой и компактной формуле. В-третьих, стандартные аппроксимирующие методы, корректно работающие в случае непрерывных фильтров, не допускают простой компактной формулы проектирования при применении этих методов непосредственно к созданию дискретных фильтров.

Спроектировать фильтр значит определить его параметры как динамического звена. Вычисление этих параметров – сложная задача; обычно оно происходит путем выбора некоторого аналога из числа фильтров известных типов и последующего такого расчёта параметров аналога, который бы обеспечил требуемые качества фильтра [2]. В статье предлагается новый подход к аппаратной реализации цифрового фильтра, основанный на том, что аналоговый фильтр представляет собой управляемую динамическую систему, непрерывная передаточная функция которой представлена в одной из форм математического описания обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Определение численного решения ОДУ эквивалентно решению разностного уравнения, определяющего выходную последовательность цифрового фильтра [4]. Таким образом, реализация фильтра сводится к реализации цифрового дифференциального анализатора (решателя ОДУ). Аппаратная реализация дифференциального анализатора требует меньшего объёма регистровой памяти, блоков умножения и сумматоров по сравнению с традиционной.

Далее будут кратко рассмотрены формы представления фильтров и основные функции модуля расширения LabVIEW 2009 MathScript RT.

Формы представления фильтров

Фильтр как звено системы автоматического управления может быть представлен и полностью описан в нескольких эквивалентных формах.

В форме рациональной передаточной функции (*tf*-представление). Если звено непрерывное (аналоговое), то оно описывается непрерывной передаточной функцией

$$W(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{b(1)S^m+b(2)S^{m-1}+\cdots+b(m+1)}{a(1)S^n+a(2)S^{n-1}+\cdots+a(n+1)}, \quad (1)$$

а если фильтр является дискретным, он может быть представлен дискретной передаточной функцией вида

$$W(z)=\frac{Y(z)}{X(z)}=\frac{b(1)+b(2)z^{-1}+\cdots+b(m+1)z^{-m}}{a(1)+a(2)z^{-1}+\cdots+a(n+1)z^{-n}}. \quad (2)$$

В обоих случаях для определения звена достаточно задать два вектора коэффициентов: b – для числителя и a – для знаменателя передаточной функции.

В виде разложения передаточной функции на простые дроби. Если корни этой функции простые, разложение имеет следующий вид (для дискретной передаточной функции):

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{r(1)}{1-p(1)z^{-1}} + \cdots + \frac{r(n)}{1-p(n)z^{-1}} + \\ + k(1) + k(2)z^{-1} + \cdots + k(m-n+1)z^{-(m-n)}. \quad (3)$$

В этой форме звено описывается тремя векторами: вектором-столбцом *r* вычетов передаточной функции, вектором-столбцом *p* полюсов и вектором-строкой *k* коэффициентов целой части дробно-рациональной функции.

В каскадной форме (*sos*-представление), когда передаточная функция звена представлена в виде произведения передаточных функций не выше второго порядка:

$$H(z) = \prod_{k=1}^{L} H_k(z) = \prod_{k=1}^{L} \frac{b_{0k} + b_{1k}z^{-1} + b_{2k}z^{-2}}{a_{0k} + a_{1k}z^{-1} + a_{2k}z^{-2}}. \quad (4)$$

Параметры каскадного представления задаются в виде матрицы sos, содержащей вещественные коэффициенты:

$$sos = \begin{pmatrix} b_{01} & b_{11} & b_{21} & a_{01} & a_{11} & a_{21} \\ b_{02} & b_{12} & b_{22} & a_{02} & a_{12} & a_{22} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{0L} & b_{1L} & b_{2L} & a_{0L} & a_{1L} & a_{2L} \end{pmatrix} \quad (5)$$

В пространстве состояний (*ss*-представление), т. е. с помощью уравнений звена в форме

$$\dot{x} = \mathrm{B}x + \mathrm{B}u;\ y = \mathrm{C}x + \mathrm{D}u. \quad (6)$$

В этой форме звено задается совокупностью четырех матриц – A, B, C, D.

Путём определения вектора *z* нулей передаточной функции, вектора *p* её полюсов и коэффициента *k* передачи звена (*zp*-представление):

$$W(s) = k\frac{[s-z(1)][s-z(2)]\cdots[s-z(m)]}{[s-p(1)][s-p(2)]\cdots[s-p(n)]}. \quad (7)$$

БИХ-фильтры. Конечной задачей проектирования линейного цифрового фильтра будем считать расчёт значений элементов векторов числителя (*b*) и знаменателя (*a*) его дискретной передаточной функции *G*(*z*), записанной в виде (2):

$$G(z) = \frac{y(z)}{x(z)} = \frac{b_0 + b_1z^{-1} + \cdots + b_mz^{-m}}{a_0 + a_1z^{-1} + \cdots + a_nz^{-n}} \quad (8)$$

Если эти два вектора известны, осуществление самой фильтрации, как упомянуто ранее, происходит с применением процедуры filter, аргументами которой являются векторы. Напомним, что представленная дискретная передаточная функция описывает в сжатой форме такое конечно-разностное уравнение фильтра:

$$a_0y(k) + a_1y(k-1) + a_2y(k-2) + \ldots + a_ny(k-n) = \\ = b_0x(k) + b_1x(k-1) + \ldots + b_mx(k-m). \quad (9)$$

Если $n = 0$, фильтр называют *нерекурсивным*, а число m – *порядком* фильтра. Такой фильтр имеет конечную импульсную характеристику, поэтому его также называют КИХ-фильтром.

Если $n > 0$, фильтр называется *рекурсивным*. Его порядком при этом называют большее из чисел m и n. В этом случае импульсная характеристика фильтра – бесконечна, и его называют также БИХ-фильтром. Такие фильтры представляют собой некоторые аналоги динамических звеньев.

Одним из средств проектирования БИХ-фильтров, предусмотренных в пакете MathScript RT, является разработка соответствующего аналогового прототипа, т. е. нахождение передаточной функции непрерывного фильтра, и последующий переход к цифровому фильтру путём поиска цифрового аналога непрерывного звена. Последнее можно осуществить с помощью билинейного преобразования *s*-плоскости в *z*-плоскость. Билинейное преобразование выполняется в соответствии с выражением

$$H(z) = H(s)|_{S = 2fs\frac{z-1}{z+1}}, \quad (10)$$

где – частота дискретизации сигнала. При этом ось $j\omega$ преобразуется в единичную окружность на *z*-плоскости.

В пакете MathScript RT билинейное преобразование осуществляется с помощью процедуры bilinear, обращение к которой имеет три формы:

[bd, ad] = bilinear (b, a, Fs, Fp);

[zd, pd, kd] = bilinear (z, p, k, Fs, FP);

[Ad, Bd, Cd, Dd] = bilinear(A, B, C, D, Fs, Fp).

Во всех трёх случаях параметры, характеризующие аналоговый прототип фильтра, преобразуются в аналогичные параметры, описывающие дискретный БИХ-фильтр. Вид и число входных параметров определяют вид и число выходных. Параметр Fs задает частоту дискретизации в герцах. Параметр Fp не обязателен. Он определяет частоту в герцах, для которой значения АЧХ до и после выполнения преобразования должны совпадать, т. е. задаёт так называемые предыскажения.

Обращение в первой форме позволяет определить коэффициенты полиномов числителя и знаменателя дискретной передаточной функции фильтра вида (8) по заданным коэффициентам полиномов числителя и знаменателя непрерывной передаточной функции вида (1). Обращение во второй форме даёт возможность вычислить нули, полюсы и коэффициент усиления дискретного фильтра по заданным аналогичным параметрам аналогового прототипа. И наконец, с помощью третьей формы определяется матрица дискретного пространства состояний фильтра по известным матрицам непрерывного пространства состояний.

Второй способ построения цифрового фильтра по его аналоговому прототипу заключается в таком преобразовании параметров аналогового фильтра в параметры дискретного фильтра, при котором импульсная характеристика последнего совпадала бы с импульсной характеристикой аналогового фильтра в дискретные моменты времени. В MathScript RT это осуществляется посредством процедуры filter_impulse:

[bz, az] = filter_impulse(b, a, Fs).

Здесь b и a – заданные векторы коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции аналогового прототипа фильтра; bz и az – вычисляемые коэффициенты числителя и знаменателя дискретной передаточной функции дискретного фильтра; Fs – заданная частота дискретизации сигнала в герцах. Если параметр Fs при обращении не указан, то по умолчанию он принимается равным 1 Гц.

Третий способ формирования дискретных фильтров – использование ранее рассмотренных процедур формирования фильтров: iir_butter, iir_chebyl, iir_cheby2 и iir_elliptic. Если при обращении к этим процедурам не указывать в конце списка входных параметров параметра 's', то результатом работы этих процедур будут параметры именно цифровых фильтров. Основное отличие применения этих функций для разработки цифровых фильтров заключается в том, что все частоты в векторе Wc задаются по отношению к частоте Найквиста. Частотой Найквиста называют половину частоты дискретизации сигнала.

Поскольку диапазон частот изменения дискретного сигнала всегда меньше частоты дискретизации, все частотные характеристики дискретных фильтров определяются только в диапазоне от нуля до частоты Найквиста. Поэтому все задаваемые в векторе Wc граничные частоты должны быть меньше единицы.

Существуют еще две процедуры расчёта БИХ-фильтров.

Процедура iir_maxf1at производит расчёт обобщенного цифрового фильтра Баттерворта. Формы обращения к ней таковы:

[b, a] = iir_maxflat (nb, na, Wc);
[b, a] = iir_maxflat (nb, 'sym', Wc);
[b, a, b1, b2] = iir_maxflat (nb, na, Wc);
[b, a] = iir_maxflat (nb, na, Wc, 'design_flag').

Первое обращение позволяет вычислить коэффициенты числителя (b) и знаменателя (a) дискретной передаточной функции $H(z)$ цифрового ФНЧ Баттерворта с частотой среза Wc, порядок числителя которой равен nb, а порядок знаменателя – na.

При обращении второго вида вычисляются коэффициенты цифрового симметричного КИХ-фильтра Баттерворта. В этом случае параметр na принимается равным нулю, а параметр nb должен быть четным.

Если использовать третье обращение к процедуре, т. е. указать в качестве выходных четыре величины, дополнительные параметры b1 и b2 дадут коэффициенты двух полиномов, произведение которых является полиномом числителя b искомой дискретной передаточной функции, причем все нули полинома b1 равны –1, а полином b2 содержит все остальные нули полинома b.

Добавление в список входных параметров процедуры параметра 'design_f1ag' позволяет изменять характер выводимой на экран информации. Если значение этого параметра равно 'trace', на экране отображаются параметры, используемые в процедуре проектирования.

Схемы в переменных состояния для линейных стационарных систем

Схемы непрерывных линейных стационарных систем (ЛСТ) в переменных состояния совпадают со схемами моделирования этих систем на АВМ [3]. Схема системы в переменных состояния может быть составлена по передаточной функции системы четырьмя различными способами:

прямого программирования;
параллельного программирования;
последовательного программирования;
совместного интегрирования.

Для иллюстрации различных методов составления схемы системы в переменных состояния рассмотрим два аналоговых фильтра, заданных следующими передаточными функциями:

$$H_1(S)=\frac{S^2+3s+2}{S^3+7S^2+12S}; \qquad (11)$$

$$H_2(S)=\frac{S^3+2s^2+3S+4}{7S^3+6S^2+5S+4}. \qquad (12)$$

Сначала более детально рассмотрим перечисленные способы для фильтра (11). Полученные схемы моделирования предназначены для реализации в Simulation Module.

Прямое программирование. Уравнение (1) представим в виде

$$H_1(S)=\frac{Y(S)}{R(S)}=\frac{S^2+3s+2}{S^3+7S^2+12S}=$$
$$=\frac{S^{-1}+3s^{-2}+2^{-3}}{1+7S^{-1}+12S^{-2}}.$$

Умножим числитель и знаменатель (11) на промежуточную переменную $E(S)$:

$$\frac{Y(S)}{R(S)}=\frac{(S^{-1}+3s^{-2}+2^{-3})E(S)}{(1+7S^{-1}+12S^{-2})E(S)}. \qquad (13)$$

Приравнивая значения знаменателей выражения (13), получаем следующее равенство:

$$R(S) = (1 + 7S^{-1} + 12S^{-2})E(S). \qquad (14)$$

Выразим значение $E(S)$ через $R(S)$ из значения $E(S)S^{-1}$ и $E(S)S^{-2}$:

$$R(S) = E(S) + (7S^{-1} + 12S^{-2})E(S);$$

$$E(S) = R(S) - 7S^{-1}E(S) - 12S^{-2}E(S); \qquad (15)$$

$$Y(S) = (S^{-1} + 3S^{-2} + 2S^{-3})E(S). \qquad (16)$$

Операции $S^{-1}E(S)$, $S^{-2}E(S)$ и $S^{-3}E(S)$ реализуются цепочкой интеграторов с передаточной функцией S^{-1}. В схеме системы в переменных состояния, показанной на рис. 1, используются переменные состояния x_1, x_2, x_3.

Дифференциальные уравнения для переменных состояния могут быть легко найдены из рассмотрения схемы системы. Считая, что входное воздействие является ступенчатой функцией, получаем:

$$\dot{r} = 0;\ \dot{x}_1 = x_2;\ \dot{x}_2 = x_3;\ \dot{x}_3 = r - 7x_3 - 12x_2.$$

Выход системы $y(t)$ – линейная комбинация переменных состояния – определяется уравнением (16)

$$y(t) = 2x_1(t) + 3x_2(t) + x_3(t).$$

Параллельное программирование. Первоначально необходимо равенство (11) представить в виде суммы дробно-рациональных функций. Для этого следует определить корни (полюса) знаменателя, представив его в виде полинома [1 7 12 0] и используя функцию roots MathScript RT. Корнями знаменателя являются действительные числа 0, –3, –4.

В соответствии с методом элементарных дробей (из интегрального исчисления) существуют константы A, B и C, такие, что

$$\frac{S^2+3S+2}{S(S+3)(S+4)}=\frac{A}{S}+\frac{B}{S+3}+\frac{C}{S+4}. \qquad (17)$$

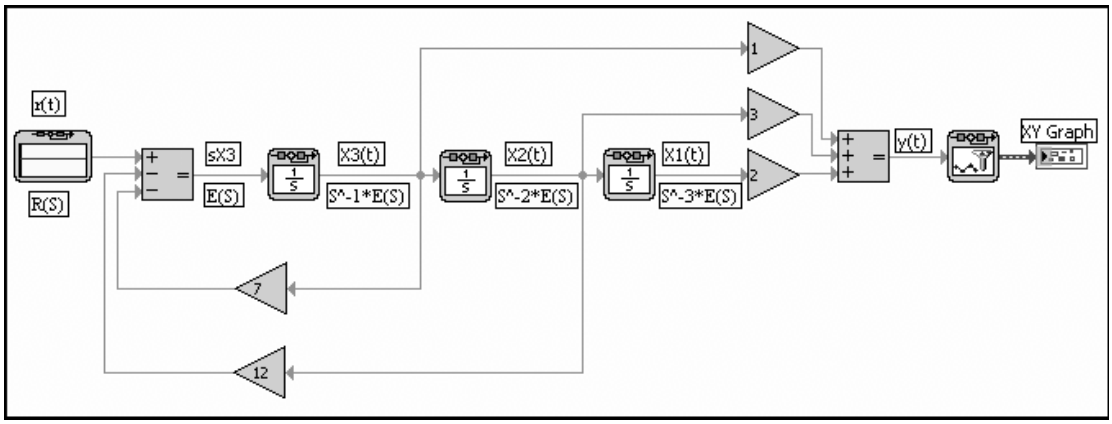


Рис. 1. Модель прямого программирования

Умножение обеих частей последнего уравнения на $S(S+3)(S+4)$ приводит к уравнению

$$S^2 + 3S + 2 = A(S+3)(S+4) + BS(S+4) + CS(S+3). \quad (18)$$

Подставив в (18) корень $S_1 = 0$, получим $2 = 12A$; $A = 1/6$. Подстановка $S_2 = -3$ дает $2 = -3B$; $B = -2/3$. Подстановка $S_3 = -4$ позволяет определить коэффициент C: $6 = 4C$; $C = 6/4 = 3/2$.

Передаточная функция (11) примет окончательный вид:

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{1}{6S} - \frac{2}{3(S+3)} + \frac{3}{2(S+4)}; \quad (19)$$

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = \frac{\frac{1}{6}S^{-1}E_1(S)}{E_1(S)} + \frac{\left(-\frac{2}{3}\right)S^{-1}E_2(S)}{(1+3S^{-1})E_2(S)} + \frac{\left(\frac{3}{2}\right)S^{-1}E_3(S)}{(1+4S^{-1})E_3(S)}. \quad (20)$$

Выражения для промежуточных переменных $E_1(S)$, $E_2(S)$, $E_3(S)$ найдём из следующих равенств:

$R(S) = E_1(S)$; $E_1(S) = R(S)$;

$R(S) = (1 + 3S^{-1})E_2(S) = E_2(S) + 3S^{-1}E_2(S)$;

$E_2(S) = R(S) - 3S^{-1}E_2(S)$;

$R(S) = (1 + 4S^{-1})E_3(S) = E_3(S) + 4S^{-1}E_3(S)$;

$E_3(S) = R(S) - 4S^{-1}E_3(S)$.

Схема в переменных состояния (19) использует выражения $E_1(S)$, $E_2(S)$ и $E_3(S)$ и представлена на рис. 2. Выражение для выхода $Y(S)$ следует из (20):

$$Y(S) = \frac{1}{6}S^{-1}E_1(S) - \frac{2}{3}S^{-1}E_2(S) + \frac{3}{2}S^{-1}E_3(S).$$

Система дифференциальных уравнений имеет теперь вид:

$$\dot{r} = 0;\ \dot{x}_1 = r;\ \dot{x}_2 = r - 3x_2;\ \dot{x}_3 = r - 4x_3.$$

Уравнение выхода тогда выглядит следующим образом:

$$y(t) = \frac{1}{6}x_1(t) - \frac{2}{3}x_2(t) + \frac{3}{2}x_3(t).$$

Последовательное программирование. Равенство (11) записывается в виде дробно-рациональных функций. Для этого с помощью функции roots необходимо найти корни числителя (нули) передаточной функции. Значения нулей для равенства (11): -1; -2. Тогда числитель замещается произведением $(s + 1)(s + 2)$, а знаменатель был получен в предыдущем варианте $S(S+3)(S+4)$, и уравнение (11) примет вид:

$$H_1(S) = \frac{(S+1)(S+2)}{S(S+3)(S+4)} = \frac{1}{S}\frac{(S+1)}{(S+3)}\frac{(S+2)}{(S+4)}. \quad (21)$$

Аналогичный вид (21) передаточной функции (11) может быть получен с помощью функции преобразования $zpk\,(H_1(S))$.

Система дифференциальных уравнений имеет теперь вид:

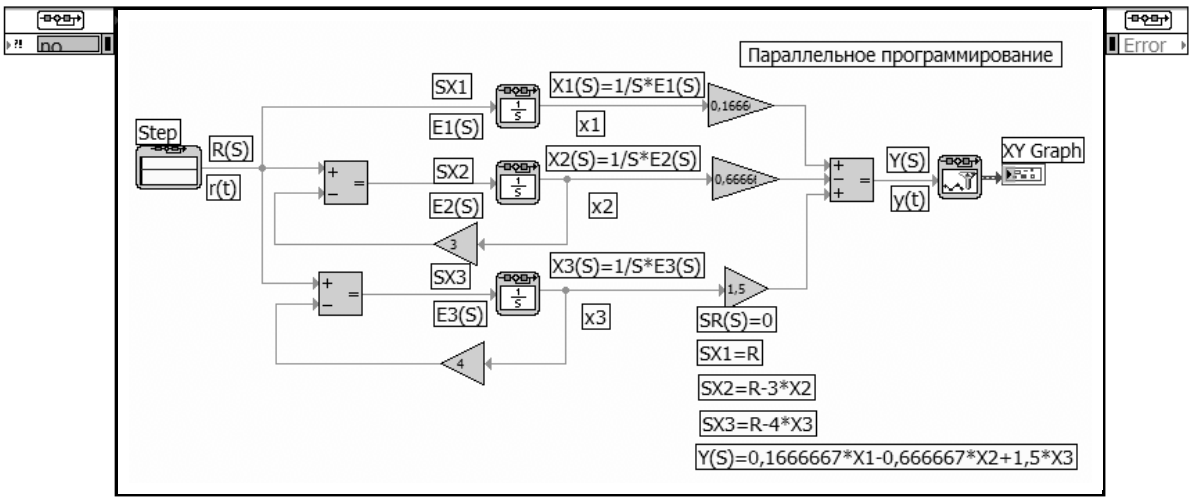


Рис. 2. Модель параллельного программирования

$\dot{r} = 0;\ \dot{x}_3 = r;\ \dot{x}_2 = 3x_2 + x_3;\ \dot{x}_1 = -4x_1 + x_2 + \dot{x}_2.$

Уравнение выхода тогда

$$y(t) = 2x_1 + \dot{x}_1.$$

Заметим, что в варианте структуры, приведённом на рис. 3, в последнее уравнение для переменной состояния входит производная $\dot{x}_2$, а уравнение выхода содержит производную $\dot{x}_1$. Значения этих переменных берутся с выходов сумматоров (входов интеграторов). Аппаратная реализация такой структуры будет требовать выделения дополнительной памяти для хранения значений производных. Чтобы решить эту проблему, преобразуем структуру (рис. 3) к виду, представленному на рис. 4, подставив в соответствующие уравнения значения производных $\dot{x}_2$ и $\dot{x}_1$. Получим:

$$\dot{x}_1 = -4x_1 + x_2 + \dot{x}_2 = -4x_1 + x_2 - 3x_2 + x_3 = \\ = -4x_1 - 2x_2 + x_3,$$

и уравнение выхода примет вид:

$$y(t) = -2x_1 - 2x_2 + x_3.$$

Способ совместного интегрирования. Запишем выражение (11) в следующем виде:

$$(S^3 + 7S^2 + 12S)\,Y(S) = (S^2 + 3S + 2)\,R(S). \quad (22)$$

Раскроем скобки в левой и правой частях уравнения (22) и оставим член, не содержащий S, в правой части:

$$S^3 Y(S) + 7S^2 Y(S) + 12SY(S) - S^2 R(S) - \\ - 3SR(S) = 2R(S). \quad (23)$$

Вынесем S в левой части (23) за скобки:

$$S[S^2 Y(S) + 7SY(S) + 12SY(S) - SR(S) - \\ - 3R(S)] = 2R(S). \quad (24)$$

Обозначим выражение в квадратных скобках через переменную состояния $X3$. Тогда выражение (24) можно представить так:

$$SX3 = 2R(S). \quad (25)$$

Запишем выражение для переменной $X3$:

$$S^2 Y(S) + 7SY(S) + 12SY(S) - SR(S) - \\ - 3R(S)] = X3. \quad (26)$$

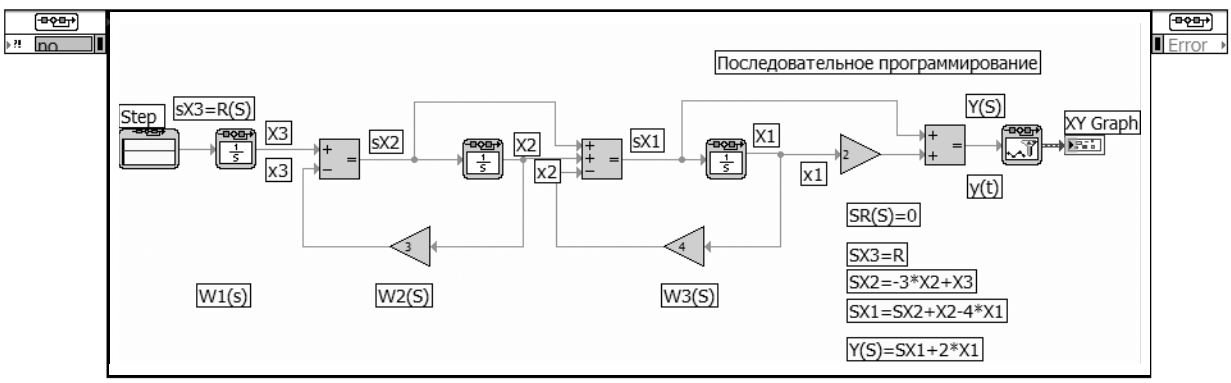


Рис. 3. Модель последовательного программирования

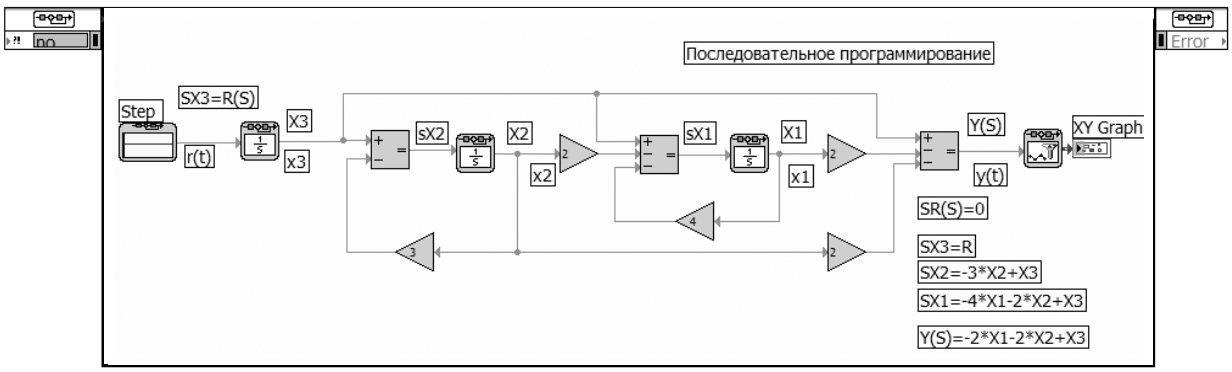


Рис. 4. Модель последовательного программирования (2-й вариант)

Перенесём слагаемые $12Y(S)$ и $-3R(S)$ в правую часть (26) и опять вынесем S за скобки в левой части:

$$[SY(S) + 7Y(S) - R(S)] = \\ = 3R(S) + X3 - 12Y(S). \quad (27)$$

Обозначим выражение в квадратных скобках (27) через переменную $X2$. При этом получим уравнение

$$SX2 = 3R(S) + X3 - 12Y(S). \quad (28)$$

В результате подобных действий с переменной $X2$ получим последнее уравнение эквивалентной системы:

$$SX1 = R(S) + X2 - 7X1. \quad (29)$$

В выражении (29) за переменную $X1$ принята выходная переменная $Y(S)$:

$$X1 = Y(S). \quad (30)$$

С учётом (30) в выражении (28) система уравнений, полученных по способу совместного интегрирования, примет вид:

$$SX3 = 2R(S); \\ SX2 = 3R(S) + X3 - 12X1; \quad (31) \\ SX1 = R(S) + X2 - 7X1.$$

Схема в переменных состояния использует выражения (31) и представлена на рис. 5. Выражение для выхода $Y(S)$ следует из (30).

Дифференциальные уравнения в переменных состояния могут быть легко найдены из рассмотрения модели системы. Считая, что входное воздействие является ступенчатой функцией, получаем:

$$\dot{r} = 0;\ \dot{x}_1 = -7x_1 + x_2 + r; \\ \dot{x}_2 = -12x_1 + x_3 + 3r;\ \dot{x}_3 = 2r.$$

Уравнение выхода

$$y(t) = x_1.$$

Программно-аппаратное тестирование фильтра в среде LabVIEW

Существует ряд инструментальных сред для графического моделирования динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями. В их состав обязательно входят решатели дифференциальных уравнений (дифференциальные анализаторы), базирующиеся на известных методах численного интегрирования. В работе [5] выполнен анализ точностных и временных характеристик существующих методов решения ОДУ, а также произведено сравнение этих методов с методом последовательного интегрирования (ПИ), описанным в работе [6]. Результатом работы [7] является аппаратная реализация высокоскоростного алгоритма численного интегрирования (ПИ) на базе NI CompactRIO FPGA Module.

Процесс программно-аппаратного тестирования дифференциального анализатора предусматривает выполнение нескольких основных этапов, каждый из которых служит для определенных целей и необходим в рамках разработанной методики [8].

Процесс тестирования представлен следующей последовательностью выполнения необхо-

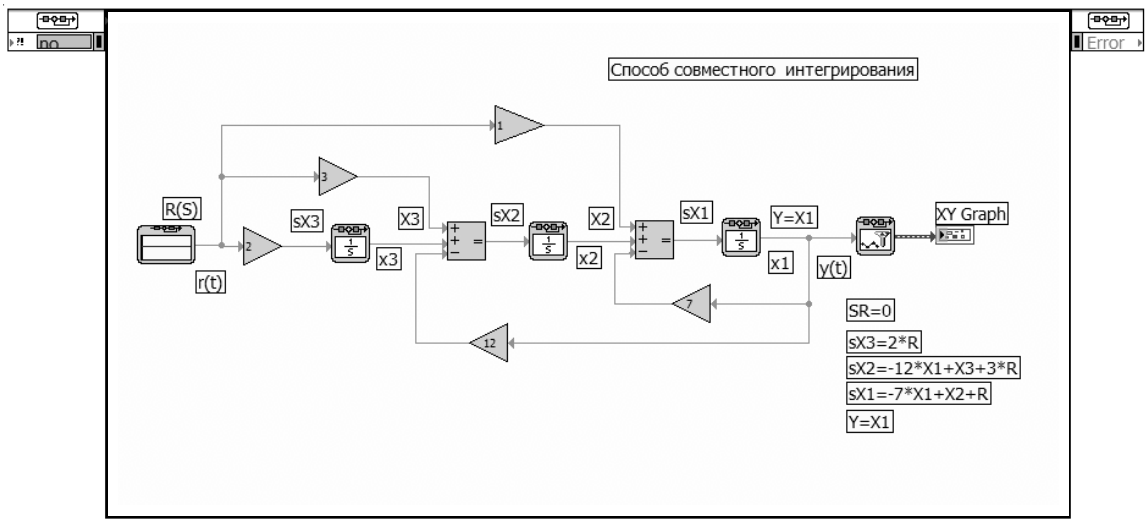


Рис. 5. Модель по способу совместного интегрирования

димых этапов, на каждом из которых оценивается относительная погрешность и время получения решения:

1. Приведение уравнения к нормальной форме Коши.

2. Получение при возможности аналитического решения или приближенного при помощи точного метода численного интегрирования (например, Рунге – Кутта 4).

3. Реализация модели и получение решения в системе Matlab/Simulink.

4. Трансляция Simulink – модели в модуль расширения среды NI LabVIEW Simulation Module.

5. Выполнение моделирования и оценка точностных и временных характеристик полученного решения.

6. По значению погрешности, полученному в п. 5, выбирается соответствующий шаг интегрирования.

7. Создание функциями ядра LabVIEW дифференциального анализатора, выполняющего вычисления с данными, представленными в формате Double.

8. Выполнение моделирования и сравнение полученных решений с результатами, полученными в п. 4 и 7.

9. Выполнение масштабирования и переход к реализации с “фиксированной точкой” при сохранении типа данных Double.

10. Выполнение моделирования. Фиксация факта “переполнения” назначенной разрядной сетки. При наличии переполнения изменение масштабов. Сравнение полученных данных с п. 8 и 5.

11. Переход к реализации интегрирования с целочисленным типом данных (I16, I32). В случае невыполнения требуемой точности с I16 переходим к типу I32.

12. Перенос модели в модуль NI FPGA Module с добавлением специальных функций и обеспечением возможности записи результатов моделирования в буфер FIFO.

13. Выполнение моделирования на аппаратном CompactRIO дифференциальном анализаторе. Оценка характеристик полученного решения.

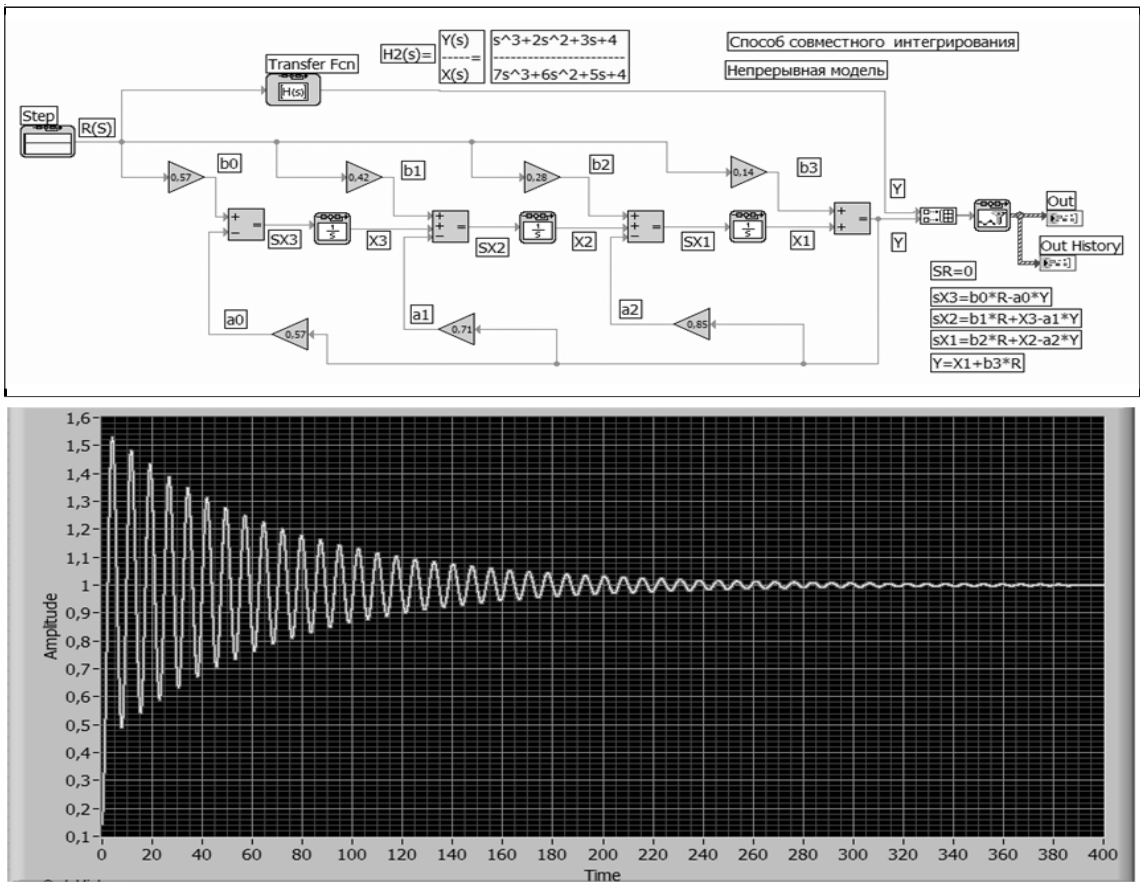


Рис. 6. Реализация непрерывной модели фильтра и его выходной сигнал

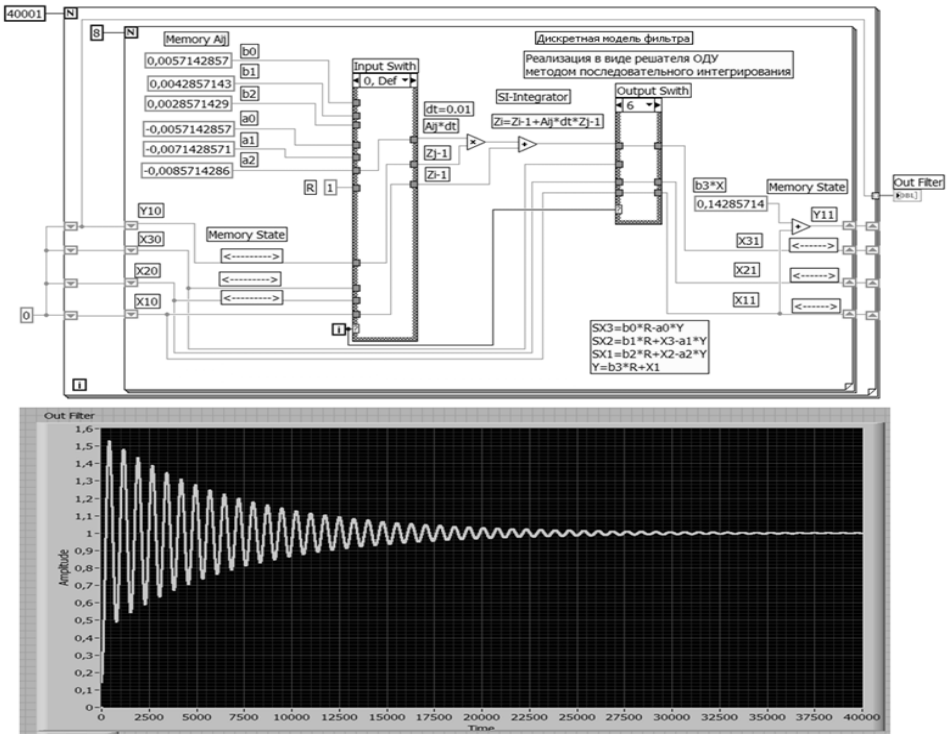


Рис. 7. Модель фильтра на базе дифанализатора и сигнал на её выходе

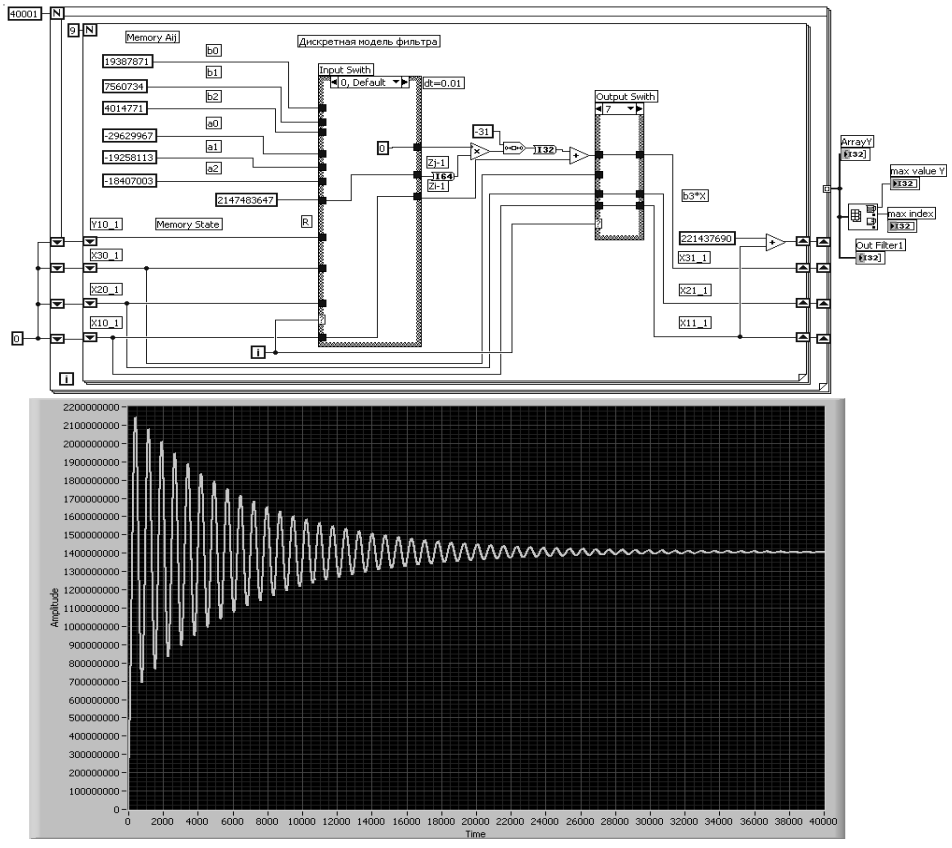


Рис. 8. Модель фильтра с фиксированной точкой
и её выходной сигнал

Проведем тестирование фильтра (12) по указанной выше методике. Модель фильтра (рис. 6) получена по способу совместного интегрирования.

Итак, в статье предложен новый способ реализации цифровых фильтров.

Выполнено обоснование выбора структуры фильтра с точки зрения его представления в виде линейной стационарной системы.

Рассмотрены различные способы представления моделей фильтров в переменных состояния.

Выбрана оптимальная структура фильтра, ориентированная на аппаратную реализацию.

Проведено тестирование различных фильтров на основе методики тестирования дифференциальных анализаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Учебный курс. СПб.: Питер; Киев: Изд. группа BHV. 2005.

2. **Оппенгейм А., Шафер Р.** Цифровая обработка сигналов. Изд. 2-е, испр. М.: Техносфера. 2009.

3. **Кехтарнаваз Н., Ким М.Н.** Цифровая обработка сигналов на системном уровне с использованием LabVIEW / Пер. с англ. под ред. В.К. Макухи. М.: Додэка-XXI. 2007.

4. **Ту Ю.** Современная теория управления / Пер. с англ. Я.Н. Гибадуллина под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение. 1971.

5. **Жуков К.Г.** Исследование эффективности решателей обыкновенных дифференциальных уравнений инструментальных систем моделирования // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Матер. междунар. конф. М.: РУДН. 2007.

6. **Жуков К.Г.** Моделирование последовательно-параллельных интегрирующих структур // Компьютерное моделирование 2002: Тр. междунар. науч.-техн. конф. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2002.

7. **Жуков К.Г.** Модельное проектирование дифференциальных анализаторов в среде LabVIEW // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Матер. междунар. конф. М.: РУДН. 2008.

9. **Бутусов Д.Н., Жуков К.Г.** Программно-аппаратное тестирование дифференциальных анализаторов в среде LabVIEW // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: Матер. междунар. конф. М.: РУДН. 2008.

УДК 621.396.965.8

Н.А. Кононов, С.Э. Сараджишвили

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ СЛОЁВ НА ОТСКАНИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Большую популярность приобрели в последние годы системы глобального позиционирования. Активно используется GPS, вводится в эксплуатацию ГЛОНАСС. На рынке представлено множество различных приёмников, имеющих цветные экраны и поддерживающих загрузку топографических карт.

Карты в спутниковых навигаторах используются в векторных форматах, поскольку это значительно уменьшает количество занимаемой ими памяти, упрощает масштабирование и улучшает качество получаемого изображения. Помимо использования в навигаторах векторные карты активно используются в различных программах для персональных компьютеров и ноутбуков, в том числе в таких интернет-сервисах, как Google Maps и Яндекс Карты.

На сегодняшний день для России существует крайне мало качественных и подробных топографических карт местности в векторных форматах. В основном существующие карты характеризуются малой детальностью и довольно плохим качеством. В данном случае речь идет не о картах городов, не о дорожных, а о топографических картах загородной местности. Поэтому задача получения качественных подробных

топографических карт России в векторных форматах актуальна.

Наиболее эффективный путь создания таких карт – использование существующих бумажных карт с их последующей актуализацией. Один из этапов данного процесса – выделение цветовых слоёв на цифровых изображениях, полученных в результате сканирования бумажных карт. От качества результатов данного этапа существенно зависят объём трудозатрат и количество времени, затрачиваемые на дальнейших этапах создания векторных карт.

Обзор и анализ существующих методик выделения цветовых слоёв на отсканированных изображениях топографических карт показал, что существующим методикам присущ ряд недостатков по критерию как качества получаемых результатов, так и объёма трудозатрат и затрат времени на решение данной задачи. В данной публикации описывается новая разработанная методика выделения цветовых слоёв, которая превосходит существующие по качеству результатов, трудозатратам и времени работы.

Постановка задачи

В качестве исходных данных имеется набор изображений, полученных в результате сканирования топографических карт. Изображения имеют 24 разряда цвета, размеры от 1500×1000 до 15000×10000 пикселей, цветовое пространство RGB. Каждый из топографических объектов в идеале должен иметь один цвет, но фактически мы видим множество оттенков. На одном изображении могут присутствовать несколько тысяч объектов, на которых присутствует шесть тематических цветов: черный, белый, синий, голубой, зеленый и коричневый. Исходные изображения не идеальны: на них присутствуют шумы, объекты характеризуются не одним цветом, а множеством цветов, причём множества цветов различных тематических слоёв могут пересекаться (на озере присутствовать зелёные области, на болоте – голубые и т. д.), границы объектов размыты. Разные листы карты могут отличаться по яркости и цветам. На рис. 1 в увеличенном масштабе представлен фрагмент изображения, полученного в результате сканирования топографической карты.

Ставилась задача разработать интерактивную методику выделения из исходных изображений отдельных цветовых слоёв в виде бинарных изображений. Под цветовым слоем

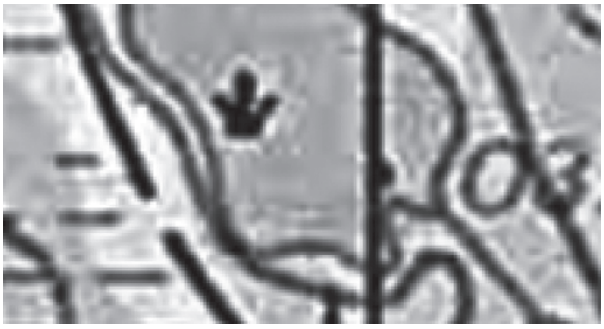


Рис. 1. Фрагмент исходного изображения в увеличенном масштабе

понимается множество объектов карты, которые в идеале должны изображаться одним цветом – синим, зелёным, чёрным или другим. Методика должна быть ориентирована на применение в условиях автоматической векторизации топографических карт и в связи с этим удовлетворять следующим требованиям: как можно качественнее выделять тематические слои; быть или полностью автоматической или интерактивной; если методика интерактивная, то трудозатраты оператора на обработку одного изображения должны сводиться к минимуму, а его действия – быть максимально простыми и требовать минимальной квалификации; время обработки одного изображения на современном компьютере не должно превышать 15 мин.

Описание методики

Требуемая методика была успешно разработана. Она включает в себя следующие шаги:

1) все размытые границы между объектами делаются чёткими;

2) на изображении по возможности выделяются все объекты и закрашиваются одним цветом;

3) производится классификация выделенных объектов в соответствии с их цветом. В результате получается заданное количество цветовых слоёв, которые содержат только объекты, относящиеся к соответствующему цвету;

4) сохранение цветовых слоёв в виде бинарных изображений.

Ш а г 1. На первом шаге методики для получения резких границ между объектами применяется метод водораздела. Метод выделяет на изображении области так, что их границы проходят по локальным максимумам градиента яркости, т. е. по тем пикселям, в окрестности которых наблюдается значительное изменение яркости.

В результате такие границы проходят по середине размытых границ между объектами.

Для вычисления значения градиента используется приближенный метод Собеля:

$$grad(p) = \sqrt{(G_x(p))^2 + (G_y(p))^2};$$

$$G_x(p) = Y(x+1, y+1) + 2Y(x+1, y) + Y(x+1, y-1) - Y(x-1, y+1) - 2Y(x-1, y) - Y(x-1, y-1);$$

$$G_y(p) = Y(x+1, y+1) + 2Y(x, y+1) + Y(x-1, y) - Y(x+1, y-1) - 2Y(x, y-1) - Y(x-1, y-1),$$

где $p = (x, y)$ – координаты пикселя, в котором вычисляется градиент; $Y(x, y)$ – яркость пикселя с координатами (x, y).

Алгоритм метода водораздела, используемый в данной методике, можно представить следующим образом [1]:

1) из каждого пикселя за один шаг "спускаемся" в локальный минимум градиента яркости среди его соседей до тех пор, пока есть куда спускаться;

2) пиксели, из которых спустились в одну точку, признаются одной областью.

В качестве результирующего цвета полученных областей берётся либо средний цвет всех пикселей данной области

$$\forall\, i \in 1..N: Cl_i = \frac{1}{ni} \sum_{j \in 1..ni} Cl(p_{i,j}),$$

либо цвет пикселя с минимальным значением градиента в области

$$\forall\, i \in 1..N: Cl_i = Cl(pcl_i), \text{ где } pcl_i = \arg\min_{j \in 1..ni} \text{grad}(p_{i,j}),$$

где N – количество областей, получившихся в результате применения метода водораздела ($1 \le N \le P$, где P – количество пикселей на изображении); Cl_i – цвет i-й области, который требуется определить; $Cl(p)$ – цвет пикселя с координатами $p \in Z^2$; ni – количество пикселей в i-й области; $p_{i,j}$ – координаты j-го пикселя в i-й области.

Выбор конкретного метода задания цветов областей зависит от исходного изображения и производится оператором на основе сравнения изображений, полученных в результате применения обоих методов.

В результате применения данного метода имеем изображение, на котором границы всех объектов четко выделены, т. е. метод позволяет убрать размытость с изображения. Однако метод обусловливает пересегментацию, когда реальные объекты оказываются разделены на множество областей, хоть и близких по цвету. Метод не требует никаких дополнительных входных параметров помимо самого исходного изображения, однако предполагает визуальный контроль результатов работы оператором и выбор наилучшего изображения из двух вариантов.

Ш а г 2. На втором шаге используется метод разрастания областей, который позволяет объединить отдельные области, полученные на предыдущем шаге, так, чтобы они соответствовали реальным объектам на исходном изображении. В силу особенностей исходных изображений при использовании данного метода иногда получаются не полностью выделенные объекты, т. е. часть объектов по-прежнему остается разбита на некоторое число областей, однако степень пересегментации значительно уменьшается. Разделенными на несколько областей в основном оказываются объекты в виде длинных линий.

В общем виде метод выглядит следующим образом [2]. Обозначим: I – исходное изображение, (x, y) – координаты в I; I и пара (x, y) образуют множество троек $(I, (x, y))$. Пусть $f(I, (x, y)) \to R^n$ – некоторая функция, отображающая картинку I и пару координат (x, y) в пространство R^n. Пусть $v \in R^n$ – вектор в R^n, а $L(v)$ – норма в R^n. Пусть C – класс элементов множества $(I, (x, y))$, а $g(C) \to R^n$ – функция, отображающая класс C в R^n. Пусть $v_1 = g(C)$, $v_2 = f(I, (x, y))$, тогда $L(v_1 - v_2)$ – мера близости класса C и вектора $(I, (x, y))$.

Ясно, что класс C задаёт область в изображении I. Предположим, что класс C, задающий связную область в I уже существует. Тогда будем добавлять к классу C соседние (на изображении) ему элементы $(I, (x, y))$, если $L(f(I, (x, y)) - g(C)) < \delta$, где δ – некий выбранный нами порог.

В данной методике используются цвета в цветовом пространстве RGB, т. е. $f(I, (x, y)) \to R^3$ – цвет пикселя с координатами (x, y); $v \in R^3$ – цвет; $L(v)$ – норма в R^3, вычисляемая по формуле $L(v) = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2}$, где R, G и B – компоненты цвета; $L(v_1 - v_2) = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}$; $g(C) \to R^3$ – функция, возвращающая средний цвет всех пикселей класса C. В этом случае пиксель будет отнесён к классу, если его цвет отличается в плане евклидового расстояния от среднего цвета по классу меньше чем на δ.

В качестве конкретного алгоритма, реализующего метод, предлагается использовать следующий [2].

Начинаем обход для определённости из левого верхнего угла:

1) объявляем левый верхний пиксель изображения новым классом;

2) для пикселей первой строки считаем отклонение от класса левого пикселя и, сравнивая с порогом, либо добавляем пиксель к классу соседа, либо заводим новый класс;

3) первый пиксель каждой последующей строки сравниваем с классом верхнего пикселя. Далее будем сравнивать пиксель с классами двух соседей: левого и верхнего:

а) если отклонение от обоих классов больше порога, то заводим новый класс, если отклонение больше только для одного класса, то добавляем пиксель к тому классу, отклонение от которого меньше порога;

б) если отклонение допустимо для обоих классов, то возможны два варианта (первый: $L(g(C1) - g(C2)) < \delta$. Тогда объединяем эти два класса, если они не один и тот же класс, и добавляем к объединённому классу текущий пиксель; второй вариант: $L(g(C1) - g(C2)) > \delta$. В этом случае добавляем пиксель к тому классу, от которого отклонение минимально).

Стоит отметить, что алгоритм использует 4-связность.

Данный метод требует указания одного параметра – порога, при котором происходит объединение областей. Порог определяется оператором в результате визуального контроля результатов работы метода. Порог выбирают исходя из следующих требований: значение порога должно быть как можно большим, но при этом таким, чтобы области, соответствующие разным цветовым слоям, не объединялись. Для определения порога достаточно применить метод три-четыре раза к небольшому фрагменту обрабатываемого изображения, что делается крайне быстро и не требует значительных затрат времени и усилий.

Ш а г 3. На третьем шаге применяется метод k-средних, который производит классификацию всех пикселей изображения, полученного на предыдущем шаге, на заданное количество кластеров. Пиксели, отнесенные к отдельным кластерам, можно выделить в отдельные цветовые слои. Соответствующие цветовые слои могут быть сохранены в виде отдельных черно-белых изображений или закрашены одним цветом на результирующем изображении. Для формирования последнего цвет каждого пикселя изменяется на цвет центра кластера, к которому данный пиксель отнесен.

В данной методике используется следующий алгоритм [3]:

Пусть $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ – набор точек в R^3 (пикселей в трехмерном цветовом пространстве). После инициализации набора из k центров m_1, m_2, ..., m_k в R^3 алгоритм разделяет точки на кластеры таким образом:

1) для каждого $i \in \{1, ..., k\}$ объединим в кластер S_i набор точек в X, которые расположены ближе всего к m_i:

$$S_i^{(t)} = \left\{x_j : | x_j - m_i^{(t)} | \leq | x_j - m_{i^*}^{(t)} | \; for\, all\, i^* = 1, ..., k\right\};$$

2) для каждого $i \in \{1, ..., k\}$ изменим m_i так, чтобы он был центром всех точек в S_i:

$$m_i^{(t+1)} = \frac{1}{\left|S_i^{(t)}\right|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j;$$

3) будем повторять шаги 1 и 2, пока m_i и S_i не перестанут изменяться.

Если два кластера одинаково близки к некоторой точке в X, мы выбираем кластер произвольно. Если некоторый кластер не имеет точек к концу шага 2, мы изменяем его центр на случайное значение и продолжаем, как и ранее.

Данный алгоритм стремится минимизировать среднеквадратичное отклонение цвета пикселей от центров соответствующих кластеров. Однако алгоритм ищет локальные минимумы, поэтому результат работы может зависеть от выбора начальных значений центров кластеров.

Поскольку тематические цвета на изображении практически не меняются при рассмотрении разных фрагментов изображения, то для больших изображений для повышения быстродействия целесообразно ограничить количество пикселей, использующихся для определения центров кластеров. Для типичных изображений достаточно рассматривать один миллион пикселей, равномерно распределенных по всему изображению.

Кластеризация пикселей может производиться как в цветовом пространстве RGB, так и в некоторых других цветовых пространствах. Были проведены эксперименты с использованием различных цветовых пространств, в результате чего выявлено, что в некоторых случаях использование цветового пространства YUV дает лучшие результаты, чем использование цветового пространства RGB, однако это происходит не

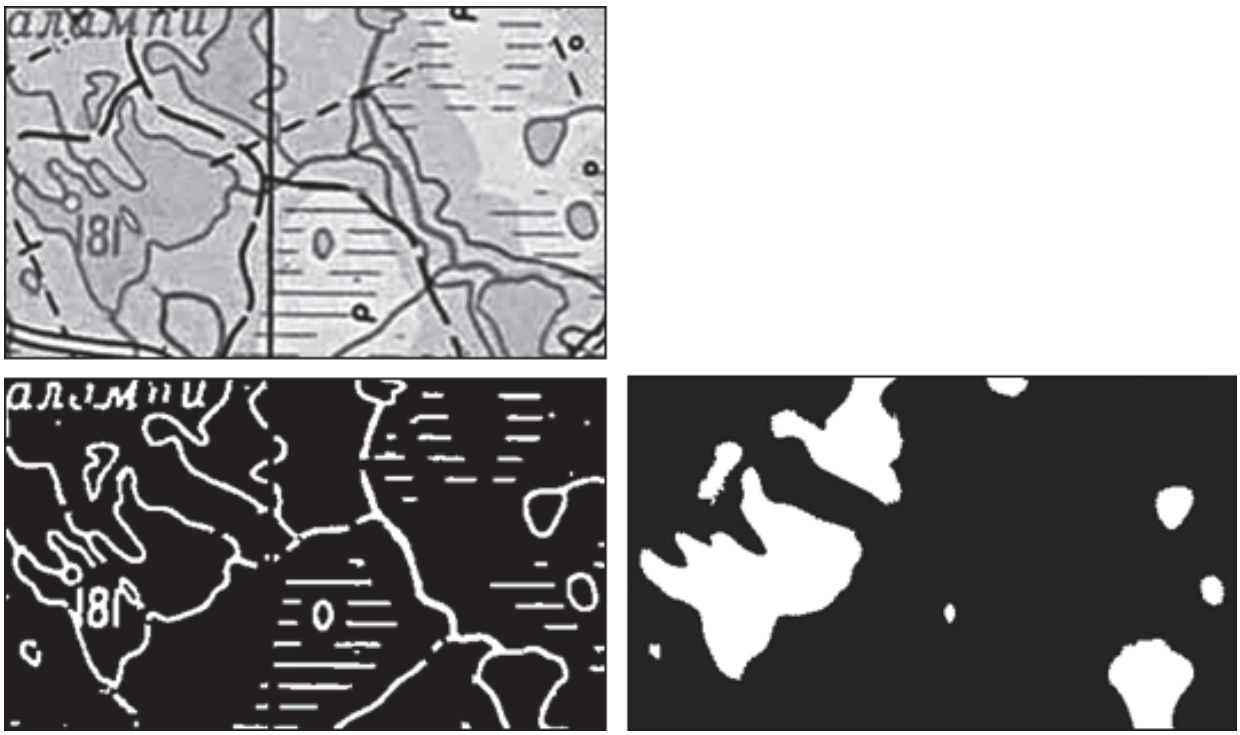


Рис. 2. Фрагмент исходного изображения и выделенные из него синий и голубой слои

всегда. Поэтому для получения наилучших результатов целесообразно получить два изображения с применением этих двух цветовых пространств и предоставить оператору возможность выбрать наиболее качественное изображение. Преобразование координат из цветового пространства RGB в цветовое пространство YUV и обратно производится по следующим формулам:

$$Y = 0{,}299\ R + 0{,}587\ G + 0{,}114\ B;$$
$$U = -0{,}14713\ R - 0{,}28886\ G + 0{,}436\ B;$$
$$V = 0{,}615\ R - 0{,}51499\ G - 0{,}10001\ B;$$

$$R = Y + 1{,}13983\ V;$$
$$G = Y - 0{,}39465\ U - 0{,}58060\ V;$$
$$B = Y + 2{,}03211\ U.$$

В качестве параметров данный метод требует указания количества кластеров, на которое требуется разбить пиксели изображения (т. е. количество цветовых слоев, требующих выделения). Для более стабильной работы метода возможно указание по одному пикселю, принадлежащему каждому цветовому слою. Цвета этих пикселей используются в качестве начальных значений центров кластеров.

Ш а г 4. Цветовые слои изображения можно разделить на два вида: слои с объектами в виде линий и символов (линии сетки, горизонтали, дороги, надписи, условные символы) и слои с "площадными" объектами (озёра, леса, болота). Кластеры, полученные в результате работы метода *k*-средних, соответствующие цветовым слоям первого вида, можно сразу сохранять в виде отдельных бинарных изображений.

Но если кластеры, соответствующие цветовым слоям второго вида, сохранить без изменений в виде бинарных изображений, то объекты на них не будут "цельными". Из объектов будут вырезаны пиксели, соответствующие объектам цветовых слоёв первого вида. Для устранения этого недостатка предлагается проводить над изображением две операции:

фильтрацию мелких объектов в цветовых слоях второго типа, которые не соответствуют реальным объектам изображения;

полное удаление цветовых слоёв первого вида с изображения.

Удаленные пиксели заменяются пикселями такого слоя второго вида, у которого они расположены ближе всего к текущему пикселю. Если таких слоёв несколько, то выбирается тот, количество пикселей которого больше на минимальном расстоянии от текущего пикселя.

После данной обработки пиксели цветовых слоёв второго вида сохраняются в виде отдельных бинарных изображений.

Результаты практического применения

Для экспериментальной проверки предложенной методики она была реализована в виде программного продукта. С использованием данной программы проведен ряд экспериментов. Часть полученных результатов приведена в таблице

Результаты испытаний

Размер изображения	Временные затраты	Затраты ручного труда	
	Время работы (мин:с)	Количество действий	Количество параметров
2000×2000	2:15	20	13
6000×4500	3:30	20	13
15000×10000	10:00	20	13

Испытания показали, что предложенная методика позволяет успешно решать поставленную задачу с учётом всех требований, предъявленных к методике. Она позволяет за короткое время обрабатывать большие изображения. Количество затрат ручного труда мало и не зависит от размера изображений. При этом методика позволяет получать качественные результирующие изображения.

Пример выделения двух цветовых слоёв с использованием предложенной методики представлен на рис. 2.

В ходе работы была разработана новая методика выделения цветовых слоёв на отсканированных изображениях топографических карт, удовлетворяющая всем предъявленным требования. Однако она имеет потенциал к усовершенствованию. Дальнейшие исследования можно проводить в области автоматизации определения параметров методов, тем самым уменьшая затраты ручного труда вплоть до получения полностью автоматической методики. Второе направление исследований – усовершенствование метода бинаризации. В текущем варианте методики есть потенциал к улучшению качества выделения слоёв с "площадными" объектами. Возможно, таких улучшений удастся достичь путем применения специальных фильтров, однако при этом необходимо проведение дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вежневец В., Конушин А., Вежневец А.** Сегментация изображений // Введение в компьютерное зрение. 2006. http://courses.graphicon.ru/main/vision/lections

2. **Вежневец А.** Выделение связных областей в цветных и полутоновых изображениях // Компьютерная графика и мультимедиа. 2003. № 4(4).

3. **Arthur D., Vassilvitskii S.** How slow is the kMeans method? // Proceedings of the twenty-second annual symposium on Computational geometry. Sedona, Arizona, USA. 2006.

УДК 621.396.673

В.П. Акимов, С.Б. Глыбовский

ВЛИЯНИЕ СЕТЧАТЫХ ЭКРАНОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН

Металлические сетки часто используются в антенной технике в качестве рефлекторов, а также заземляющих экранов. Сетчатые экраны особенно удобны в тех случаях, когда применение цельнометаллических экранов оказывается невозможным в силу тех или иных обстоятельств. В частности, металлические сетки используются в качестве конструкционного материала при изготовлении экранов антенных решеток из вибраторов для получения однонаправленного излучения (приёма). Наибольший интерес вызывает изменение входного сопротивления элемента решетки, вызванное присутствием таких экранов. В строгой постановке задача определения входного импеданса элемента решетки в присутствии сетчатого экрана сопряжена с большими математическими трудностями. Поэтому в данной статье для получения необходимых соотношений используется метод усредненных граничных условий [1] и метод мнимых изображений [2]. Рассматриваются различные типы эквидистантных антенных решеток, расположенных над сетчатым экраном (экран считается расположенным горизонтально):

1. Горизонтальные вибраторные антенны над сеткой из параллельных проводников: а) два одинаковых горизонтальных коллинеарных электрических диполя; б) два одинаковых горизонтальных параллельных электрических диполя; в) полуволновой горизонтальный электрический вибратор; г) два одинаковых горизонтальных коллинеарных полуволновых вибратора; д) два одинаковых горизонтальных параллельных полуволновых вибратора.

2. Вертикальные вибраторные антенны над сеткой с квадратной ячейкой и идеальными контактами проводников в узлах: а) два одинаковых вертикальных параллельных электрических диполя; б) четвертьволновый вертикальный электрический штырь; в) два одинаковых параллельных вертикальных четвертьволновых штыря.

В каждом из этих случаев период сетки (расстояние между соседними проводниками) считается много меньше длины волны, а диаметр проводников сетки – много меньше её периода. Данные приближения справедливы для используемых в антенной технике сетчатых экранов. Пример геометрии рассматриваемой задачи приведен для случая 1г на рис. 1.

Существуют строгие методы решения подобных задач (например, [3]). Однако их применение в целях проведения численных расчётов невозможно на практике в силу огромной трудоёмкости. Но существует приближенный подход, применимый с высокой степенью точности в условиях поставленной задачи: метод усредненных граничных условий М.И. Конторовича [1]. Согласно данному методу в указанных случаях сетчатый экран может быть описан непрерывной плоской границей раздела с граничными условиями особого вида. Например, для плотной сетки из параллельных проводников усредненные граничные условия имеют вид:

$$E_{1x} = E_{2x};$$

$$E_{1x} = i \cdot 120\pi \frac{\alpha}{\lambda} \ln\left(\frac{\alpha}{2\pi \cdot r_0}\right)\left(j_x + \frac{1}{k^2}\frac{\partial^2 j_x}{\partial x^2}\right),$$

где j_x – усредненная плотность тока на поверхности сетки, она выражается через скачок тангенциальной составляющей магнитного поля у ее поверхности; α – период сетки; r_0 – радиус проводника сетки; λ – длина волны, $k = 2\pi/\lambda$.

Выбор системы координат в каждом случае соответствует показанному на рис. 1.

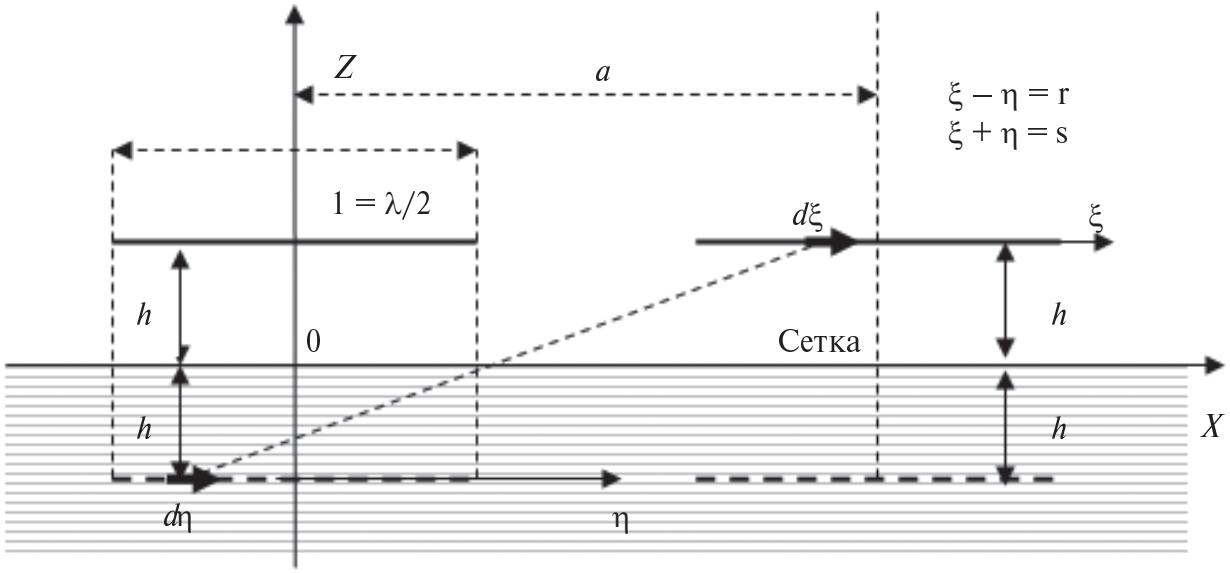


Рис. 1. Решётка из двух горизонтальных коллинеарных полуволновых электрических вибраторов над сеткой из параллельных проводников

Если рассмотреть одиночный горизонтальный электрический диполь над сеткой из параллельных проводников (причем вектор дипольного момента параллелен направлению проводников), то, решая краевую задачу в Фурье-пространстве, можно получить для горизонтальной компоненты вектора Герца над сеткой:

$$\widetilde{\Pi}_1 = A\left(\exp\left(-i\gamma|z-h|\right)+R(\gamma)\exp\left(-i\gamma\,(z+h)\right)\right);$$

$$R(\gamma) = -\frac{k}{k+2i\gamma\kappa};\ \kappa = \frac{\alpha}{\lambda}\ln\frac{\alpha}{2\pi\cdot r_0},$$

где: $\gamma^2 = k^2 - \alpha^2 - \beta^2$; α, β – переменные преобразования Фурье; h – высота расположения диполя над сеткой.

Очевидно, что в данной формуле за поле, рассеянное проводниками сетки, отвечает второе слагаемое. Перейти к нахождению поля в $\vec{r}$-пространстве далее можно, применив обратное преобразование Фурье. Однако это приведет к решению в виде медленно сходящегося двойного интеграла, что крайне неудобно для использования его в численных расчётах. Возможен и другой подход: $R(\gamma)$ необходимо представить как преобразование Лапласа некоторой другой функции по переменной t. Учитывая вид полученного решения в Фурье-пространстве, по аналогии с полем диполя можно записать вторичное поле токов сетки в виде

$$\Pi_1^{\text{отраж}}(\vec{r}) = -i\frac{IL}{\omega\varepsilon_0}\frac{ik}{2\kappa}\int_0^\infty \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t\right)G(\vec{r}-\vec{z}_o(-h+it))\,dt,$$

где G – функция Грина свободного пространства

$$G(x,y,z,t) = \frac{\exp\left(-ik\sqrt{x^2+y^2+(z+h-it)^2}\right)}{4\pi\sqrt{x^2+y^2+(z+h-it)^2}}.$$

Полученное решение трактуется как поле эквивалентного источника, протяженного вдоль мнимой оси t. Данный подход называется методом мнимых изображений и в общей постановке описан в [2]. В верхнем полупространстве поле равно сумме собственного поля диполя и поля его мнимого изображения, при этом наличие сетки уже не учитывается. Функция Грина, как видно, содержит комплексное расстояние $d = \sqrt{x^2+y^2+(z+h-it)^2}$, и всегда можно выбрать ветвь корня, для которой $\mathrm{Im}(d) < 0$. Такой выбор обеспечивает экспоненциальное затухание подынтегрального выражения и, как следствие, быструю сходимость интеграла. После нахождения поля мнимого изображения, описывающего действие сетки, изменение входного сопротивления исходного диполя, связанное с присутствием экрана, находится с помощью метода наведенных ЭДС.

В [4] показано, что изменение входного сопротивления одиночного горизонтального диполя над сеткой выражается формулой

$$\frac{\Delta Z'}{R_0} = -\frac{3}{4\kappa}\exp(-2ikh)\times$$

$$\times\int_0^\infty \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t\right)\exp(-kt)\left\{\frac{1}{2h-it}-\frac{1+ik(2h-it)}{k^2(2h-it)^3}\right\}dt,$$

где R_0 – входное сопротивление диполя в свободном пространстве.

В случае, когда рассматриваются два одинаковых коллинеарных диполя, то помимо собственного изображения на входное сопротивление каждого из них влияет изображение соседнего. Показано, что в системе из двух одинаковых коллинеарных горизонтальных диполей влияние изображения соседнего диполя на входное сопротивление описывается формулой

$$\frac{\Delta Z''_{\text{колл}}}{R_0} = -\frac{1}{\omega \cdot k\varepsilon_0 \cdot 160\pi\kappa} \times$$
$$\times \int_0^{\infty} \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t - ik \cdot \operatorname{Re} d_0 \right) \exp(-k \cdot \operatorname{Im} d_0) \times$$
$$\times \left\{ \frac{k^2}{d_0} - \frac{\left[d_0{}^2\left(1 + k^2a^2\right) - 3a^2 + ikd_0\left(d^2 - 3a^2\right) \right]}{d_0{}^5} \right\} dt,$$

где $d_0 = \sqrt{a^2 + (2h - it)^2}$ – комплексное расстояние; a – расстояние между диполями; h – высота расположения диполей над экраном.

Здесь ветвь корня, как и в остальных случаях, должна быть выбрана с учетом требования отрицательности мнимой части комплексного расстояния.

Подобная формула получена и в задаче о двух параллельных одинаковых горизонтальных электрических диполях над сеткой из параллельных проводников:

$$\frac{\Delta Z''_{\text{пар}}}{R_0} = -\frac{1}{\omega \cdot k\varepsilon_0 \cdot 160\pi\kappa} \times$$
$$\times \int_0^{\infty} \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t - ik \cdot \operatorname{Re} d_0 \right) \exp(-k \cdot \operatorname{Im} d_0) \times$$
$$\times \left\{ \frac{k^2}{d_0} - \frac{d_0{}^2 + ikd_0{}^3}{d_0{}^5} \right\} dt,$$

где в данном случае: $d_0 = \sqrt{a^2 + (2h - it)^2} = \sqrt{a^2 + 4h^2 - t^2 - i \cdot 4ht}$.

Также рассмотрен полуволновой горизонтальный электрический вибратор, параллельный проводникам сетки. Каждый из его элементарных токов создает независимо от других собственное мнимое изображение. При этом считается, что в первом приближении распределение тока в вибраторе является косинусоидальным. Показано, что, используя метод наведенных ЭДС, выражение для изменения входного сопротивления полуволнового вибратора над сеткой может быть получено в форме двойного интеграла, что достаточно удобно для расчётов, т. к. модуль подынтегрального выражения экспоненциально затухает вдоль одной из переменных интегрирования:

$$\Delta Z' = -\frac{k}{\omega\varepsilon_0 8\pi\kappa} \times$$
$$\times \int_0^{l} g(r) \left[\cos\left(\frac{\pi r}{l}\right)(l - r) + \frac{l}{\pi}\sin\left(\frac{\pi r}{l}\right) \right] dr,$$

где $g(r) = \int_0^{\infty} \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t \right) \exp(-ikd_1) \times$

$$\times \left\{ \frac{k^2}{d_1} - \frac{\left[d_1{}^2\left(1 + k^2r^2\right) - 3r^2 + ikd_1\left(d_1{}^2 - 3r^2\right) \right]}{d_1{}^5} \right\} dt.$$

Здесь: $l = \lambda/2$ – длина вибратора; $d_1 = \sqrt{r^2 + (2h - it)^2}$; h – высота расположения вибратора над экраном.

Записанная формула описывает влияние собственного изображения вибратора. Примеры рассчитанных зависимостей изменения входного сопротивления от высоты расположения вибратора над экраном приведены на рис. 2, *а* и *б*.

В случае, когда рассматривается система из двух одинаковых полуволновых вибраторов, полное изменение входного сопротивления каждого из них, связанное с сеткой, определяется, кроме того, влиянием изображения соседнего вибратора.

Для учета влияния соседнего вибратора посредством сетки в системе из двух одинаковых коллинеарных полуволновых вибраторов была получена формула

$$\Delta Z''_{\text{колл}} = -\frac{k}{\omega\varepsilon_0 16\pi\kappa} \times$$
$$\times \int_{-l}^{l} g_{\text{колл}}(r) \left[\cos\left(\frac{\pi r}{l}\right)(l - |r|) + \frac{l}{\pi}\sin\left(\frac{\pi|r|}{l}\right) \right] dr,$$

где

$$g_{\text{колл}}(r) = \int_0^{\infty} \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t \right) \exp(-ikd) \left\{ k^2\frac{1}{d} - \frac{1}{d^5} \times \right.$$
$$\left. \times \left[d^2\left(1 + k^2(a + r)^2\right) - 3(a + r)^2 + ikd\left(d^2 - 3(a + a)^2\right) \right] \right\} dt,$$

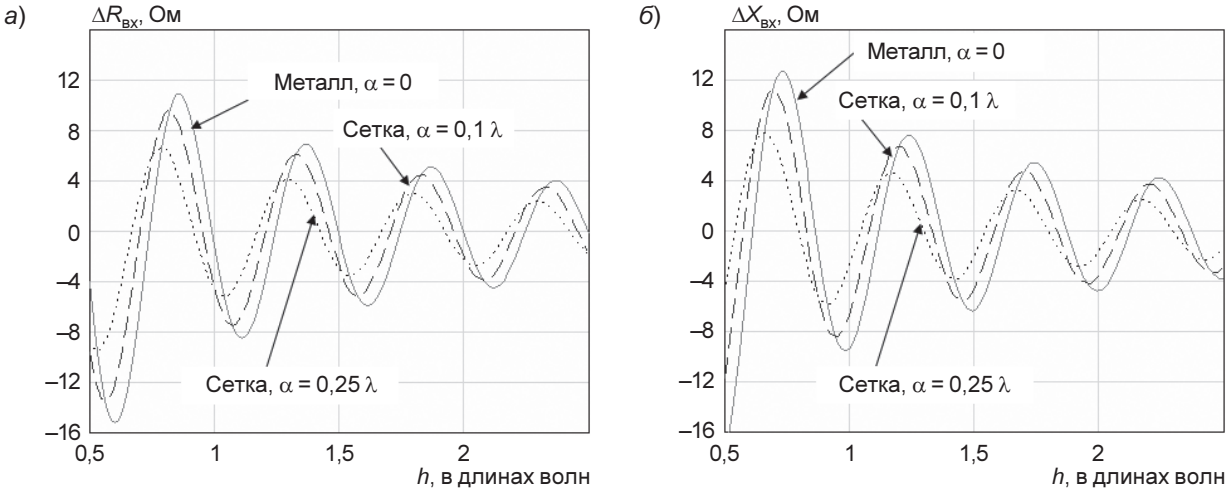


Рис. 2. Изменение вещественной (*а*) и мнимой (*б*) части входного сопротивления одиночного горизонтального полуволнового вибратора над сеткой из параллельных проводников в зависимости от высоты расположения

$$d = \sqrt{(a+r)^2 + (2h - it)^2}\,.$$

В случае же двух одинаковых параллельных горизонтальных вибраторов над сеткой из параллельных проводников (оси вибраторов параллельны проводникам сетки)

$$\Delta Z''_{\text{пар}} = -\frac{k}{\omega\varepsilon_0 8\pi\kappa} \times$$
$$\times \int_0^l g_{\text{пар}}(r)\left[\cos\left(\frac{\pi r}{l}\right)(l-r) + \frac{l}{\pi}\sin\left(\frac{\pi r}{l}\right)\right]dr,$$

где

$$g_{\text{пар}}(r) = \int_0^\infty \exp\left(i\frac{k}{2\kappa}t\right)\exp(-ikd_3)\left\{k^2\frac{1}{d_3} - \right.$$
$$\left. - \frac{1}{{d_3}^5}\left[{d_3}^2\left(1 + k^2r^2\right) - 3r^2 + ikd_3\left({d_3}^2 - 3r^2\right)\right]\right\}dt,$$

$$d_3 = \sqrt{r^2 + a^2 + (2h - it)^2} = \sqrt{r^2 + a^2 + 4h^2 - t^2 - i\cdot 4ht}.$$

В обеих задачах о двухэлементных вибраторных решётках h – высота расположения каждого вибратора над экраном, a – расстояние между их центрами.

Также рассмотрены некоторые вертикальные вибраторные антенны над сеткой с квадратной ячейкой и идеальными контактами проводников в узлах. Решение задачи об одиночном вертикальном диполе, расположенном на высоте h над экраном такого типа, производится при помощи описанных ранее методов. При этом усредненные граничные условия для рассматриваемого экрана имеют вид:

$$\vec{n}\times\left(\vec{E}_1 - \vec{E}_2\right) = 0;$$

$$\vec{\tau}_0\vec{E}_1 = i\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\kappa\left(\vec{\tau}_0\cdot\vec{j} + \frac{1}{2k^2}\vec{\tau}_0\cdot\frac{\partial}{\partial\tau}(\nabla j)\right) = 0,$$

где $\vec{n}$ – орт нормали к поверхности сетки; $\vec{\tau}_0$ – единичный вектор, параллельный плоскости сетки; $\vec{j} = \vec{n}\times\left(\vec{H}_1 - \vec{H}_2\right)$ – усредненная плотность тока на поверхности сетки.

Для изменения входного сопротивления одиночного вертикального диполя из-за присутствия сетки можно получить [5]:

$$\frac{\Delta Z}{R_0} = \frac{-i}{40\pi\omega\varepsilon_0 k^2} \times$$
$$\times \int_0^\infty f(t)\exp\left(-ik(2h - it)\right)\left(\frac{1 + ik(2h - it)}{(2h - it)^3}\right)dt,$$

где $f(t) = B(\gamma_1\exp(i\gamma_1 t) - \gamma_2\exp(i\gamma_2 t))$;

$$\gamma_1 = \frac{k}{2\kappa}\left(1 + \sqrt{1 + 4\kappa^2}\right);\ \gamma_2 = \frac{k}{2\kappa}\left(1 - \sqrt{1 + 4\kappa^2}\right);$$

$$B = -\frac{i}{\sqrt{1 + 4\kappa^2}}.$$

Когда рассматривается система из двух одинаковых вертикальных диполей, помимо собственного изображения на входное сопротивление действует изображение соседнего. Это влияние, как показано, описывается формулой

$$\frac{\Delta Z''_{\text{пар}}}{R_0} = \frac{-i}{40\pi\omega\varepsilon_0 k^2}\int_0^\infty f(t)dt\,\frac{\exp(-ikd)}{4\pi}\left\{k^2\frac{1}{d} + \right.$$
$$+\frac{(-ikd)\left(d^2 - ik(2h-it)^2 d - 2(2h-it)^2\right)}{d^4} -$$
$$\left. -\frac{\left(d_2{}^2 - ik(2h-it)^2 d - 3(2h-it)^2\right)}{d^5}\right\}.$$

В данной формуле $d = \sqrt{a^2 + (2h-it)^2} = \sqrt{a^2 + 4h^2 - t^2 - i\cdot 4ht}$. Нужная ветвь комплексного корня выбирается аналогично предыдущим случаям исходя из требования экспоненциального убывания подынтегрального выражения при $t \to \infty$.

На основании принципа суперпозиции также может быть рассмотрен вертикальный четвертьволновой штырь, распределение тока в котором считается полукосинусоидальным, а его нижняя точка поднята над экраном на высоту h. Показано, что формула, описывающая изменение его входного сопротивления, может быть сведена к двойному интегралу:

$$\Delta Z' = -\int_0^{2l} p(s)\times$$
$$\times\left[\cos\left(\frac{\pi s}{2l}\right)\left(l - |s-l|\right) + \frac{2l}{\pi}\cos\left(\frac{\pi}{2l}(s-l)\right)\right]ds,$$

где

$$p(s) = \frac{i}{4\pi\omega\varepsilon_0}\int_0^\infty f(t)\exp(-ikd_4))\left(\frac{1+ikd_4}{d_4{}^3}\right)dt,$$

причем $l = \lambda/4$– длина штыря, $d_4 = 2h + s - it$.

Примеры рассчитанных зависимостей изменения входного сопротивления от высоты расположения нижней точки штыря над экраном приведены на рис. 3, *а* и *б*.

Наконец, в случае системы из двух одинаковых параллельных четвертьволновых штырей на входное сопротивление каждого помимо собственного мнимого изображения влияет мнимое изображение соседнего штыря. Влияние соседнего штыря посредством сетки на входное сопротивление может быть найдено по формуле

$$\Delta Z''_{\text{пар}} = -\int_0^{2l} p_2{}'(s)\times$$
$$\times\left[\cos\left(\frac{\pi s}{2l}\right)\left(l - |s-l|\right) + \frac{2l}{\pi}\cos\left(\frac{\pi}{2l}(s-l)\right)\right]ds,$$

где

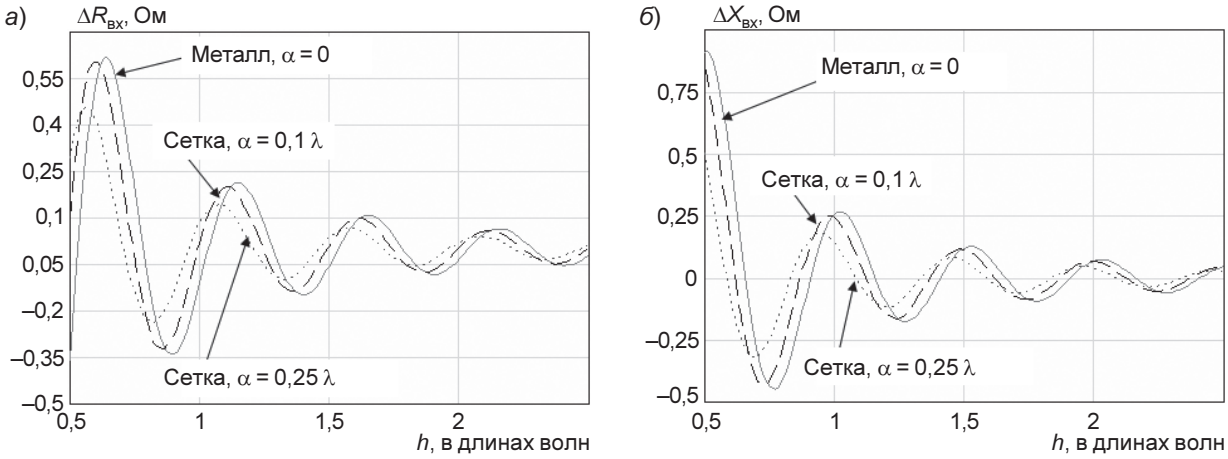


Рис. 3. Изменение вещественной (*а*) и мнимой (*б*) части входного сопротивления одиночного вертикального четвертьволнового штыря над сеткой с квадратной ячейкой в зависимости от высоты поднятия его нижней точки

$$p'(s)=\frac{i}{8\pi\omega\varepsilon_0}\int_0^{\infty} f(t)\exp(-ikd_5)\left(\frac{k^2}{d_5}+\frac{1}{d_5^4}\times\right.$$
$$\times\left(\left(-ik\right)\left(d_5{}^2-ikd_5(2h+s-it)^2-2(2h+s-it)^2\right)\right)-$$
$$\left.-\frac{1}{d_5^5}\left(\left(d_5{}^2-ikd_5(2h+s-it)^2-3(2h+s-it)^2\right)\right)\right)dt;$$

$d_5=\sqrt{a^2+(2h-it+s)^2}$; $l=\lambda/4$; a – расстояние между штырями.

Следует отметить, что во всех случаях полное изменение сопротивления связано в том числе и с непосредственным действием элементов антенной системы друг на друга. Рассмотрено же было только взаимодействие посредством сетки как гораздо более сложное.

Все полученные формулы могут быть сведены к известным в литературе выражениям для изменения входного сопротивления вибраторных антенн над идеально проводящей металлической плоскостью [6] (взаимное сопротивление исходного вибратора и его зеркального отражения). При этом в этих формулах необходимо рассмотреть предельный переход, при котором сетка превращается в сплошной экран: $\alpha \to 0$, $r_0/\alpha = \text{const} << 1$, откуда $\kappa \to 0$. Кроме того, может быть рассмотрен другой предел: $r_0 \to 0$, $\alpha/\lambda = \text{const} << 1$, $\kappa \to \infty$, что соответствует "исчезновению" сетки. Из приведенных выражений видно, что при этом в каждом из рассмотренных случаев изменение входного сопротивления стремится к нулю.

На основании полученных формул можно исследовать антенные решётки из произвольного числа вибраторных антенн. Например, двумерные решетки определенной размерности из полуволновых вибраторов с рефлектором в виде сетчатого экрана. Наибольшее воздействие на каждый элемент решётки оказывают соседние элементы, которые могут быть рассмотрены в отдельности. Если рассматривается неравномерное по амплитуде и фазе возбуждение антенной решётки, то вклад во входное сопротивление одного элемента всех соседних элементов также может быть рассчитан с использованием полученных формул при учёте соответствующих амплитудно-фазовых коэффициентов.

Таким образом, были исследованы взаимодействия различных типов вибраторных антенн и простых антенных решеток с сетчатыми экранами. Это взаимодействие выражается в изменении входного сопротивления антенны (или элемента антенной решётки), что имеет очень важное значения при согласовании таких антенн. Для каждого из рассмотренных случаев рассчитаны зависимости изменения входного сопротивления от различных геометрических параметров антенных систем, а также от параметров экранов. Также найдены диаграммы направленности рассмотренных систем и исследована зависимость их формы от параметров сетки. Полученные результаты дают удобные для проведения численных расчётов формулы. Наглядно показано, что влияние даже достаточно плотных сетчатых экранов может сильно отличаться от влияния сплошных, а отражение от экранов, сделанных из редкой сетки, наоборот, может быть сопоставимо с отражением от цельнометаллического экрана. Это обстоятельство говорит о важности учёта сетчатости используемых экранов при создании и расчёте реальных антенн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Конторович М.И., Астрахан М.И., Акимов В.П., Ферсман Г.А.** Электродинамика сетчатых структур. М.: Радио и связь. 1987. 134 с.

2. **Lindell I.V.** Exact image theory // Methods for electromagnetic field analysis. Oxford University Press, New York. 1992. P. 199–279.

3. **Wait J.R.** Theories of Scattering from Wire Grid and Mesh Structures // IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. MTT-23, 1975. P. 253–288.

4. **Акимов В.П.** Электродинамика. Метод мнимых изображений. Изд-во СПбГТУ. 1997. 31 с.

5. **Lindell I.V., Akimov V.P., Alanen E.** Image theory for dipole excitation of fields above and below a wire grid with square cells // IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility. Vol. EMC-28. 1986. № 2. P. 107–109.

6. **Марков Г.Т.** Антенны. М.: Госэнергоиздат. 1960. 535 с.

УДК 574.5

В.В. Александров, Д.В. Александров, Б.В. Александров

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ТЕХНОСФЕРЕ И ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ЭКОСИСТЕМ

Посвящается памяти
ихтиолога и селекционера
канд. биол. наук Е.С. Слуцкого

Современные проблемы безопасности жизнедеятельности в значительной степени обусловлены неионизирующим электромагнитным излучением (ЭМИ) систем сотовой радиосвязи. Ожесточенные дискуссии по оценке опасности или безопасности повсеместного применения сотовой связи не дают однозначных ответов на эти вопросы в области как фундаментальных, так и прикладных исследований [1]. Особенно достижения последних трех–пяти лет показывают, что именно медицинские аспекты проблемы остаются крайне обостренными и далекими от разрешения [2].

Проблемы экологической безопасности для промышленного Северо-Западного региона России требуют законодательных решений.

В Лаборатории электрофизики естественных экосистем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в качестве тест-объекта для изучения воздействия ЭМИ на биологические объекты было предложено использовать изменение магнитного поля среды обитания (вертикальной компоненты) $\Delta \mathbf{B}_z$ в периоды функционирования различных источников излучения для различных диапазонов – от ультранизкочастотного (0,001 Гц) вплоть до высокочастотного, включая излучение телефонных аппаратов сотовой связи ТА [1].

Помимо задач, связанных с выявлением изменения $\mathbf{B}_z$ в объёме пространства в ближней зоне ТА различных конструкций и модификаций и оценки изменчивости $\mathbf{B}_z$ при использовании различных режимов функционирования ТА, ставилась цель:

испытать матричные преобразователи-аппликаторы конструкции Фонда новых медицинских технологий “Айрэс”, предназначенные для возможного снижения уровня энергии воздействия ЭМИ на слуховые органы потребителя;

подтвердить возможность действия современных ТА на физиологию поведения гидробионтов (аквариумные золотые рыбки Carassius Auratus).

Исходя из поставленной цели исследований Лаборатория электрофизики естественных экосистем провела экспериментальную работу по оценке действия миниатюрных источников неионизирующего ЭМИ на аквариумных рыб ТА системы сотовой связи в сети МТС. Причем зерно задачи – сравнить результаты действия излучения при функционировании источника как в типовых условиях, так и в условиях применения защитных устройств Фонда “AIRES”.

Для решения поставленных задач предварительно обследовались электромагнитные поля ЭМП помещения и применявшейся аппаратуры сотовой связи (ТА) и оптимально размещалась установка, включавшая в себя: источники ЭМИ (ТА), аквариумы с рыбами (два опытных, один контрольный), ПЭВМ, оснащённые web-камерами, а также комплект контроля переменного МП в лаборатории. В комплект входили: преобразователь магнитной индукции ПМИ “НЕВА-5”, преобразователь квазипостоянного МП тесламетр “НЕВА-4”, преобразователь индукции переменного магнитного поля тесламетр “НЕВА-3”, измеритель напряженности перменного электрического поля “НЕВА-Эдн”. Аппаратура сконструирована и аттестована Государственным научным центром ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова (фирма ЭТН, Санкт-Петербург) [1, с. 591–595].

Эксперименты проводились на трех компьютерах (операционная система Windows XP):

Intel Celeron 764 МГц, 128 Mb, HDD – 40 ГГб, web-camera Creative;

Intel Celeron 1100 МГц, 128 Mb, HDD – 30 ГГб, web-camera Logitech.

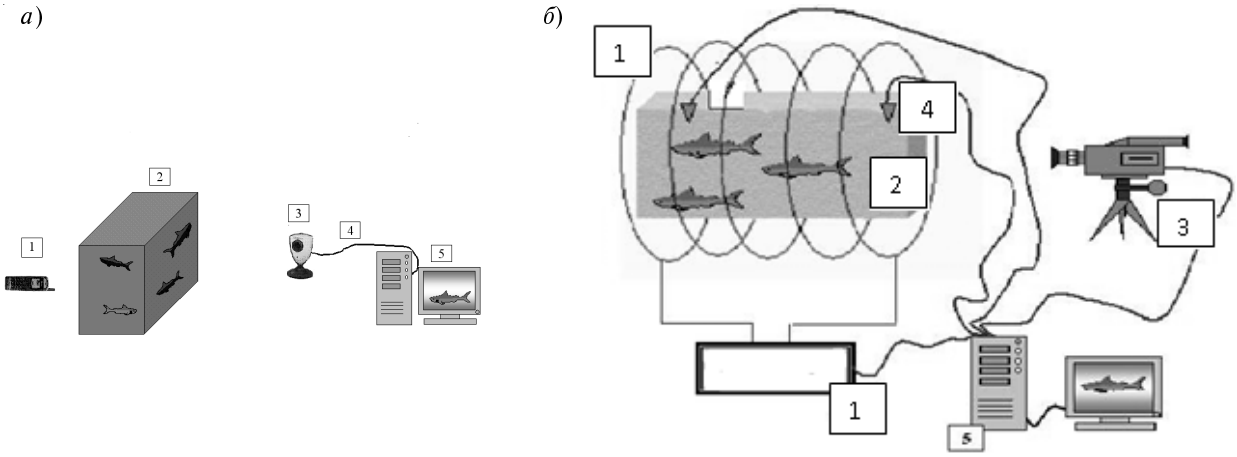


Рис. 1. Схема установки для видеорегистрации двигательной активности рыб
1 – источник электромагнитного излучения; *2* – аквариум с рыбами; *3* – web-камера; *4* – USB-шина; *5* – компьютер

Первые два компьютера оснащены web-камерами для съёмки поведения рыб в аквариумах. Камеры управлялись с помощью программного пакета Image Studio 7.2, который производил считывание информации с камер, вывод на экран и сохранение полученных файлов в формате AVI. Третий компьютер использовался как сервер, был объединен в сеть с остальными и производил запись на CD диски для последующей обработки (рис. 1).

Аквасистемы. Исследовалась физиология поведения популяции золотой рыбки *Carassius Auratus japonicus flabellicaudatus, Slutsky,* 1985. Популяция создана в 1970 году на основе близкородственного скрещивания организмов, имеющих общих предков (жесткий инбридинг). Генетически чистый материал поддерживается в настоящее время в государственном НИИ охраны рыбного хозяйства (рис. 2).

Рыб разместили в трёх аквариумах ёмкостью 30 л по 20 особей в каждом. Два аквариума из них применили непосредственно в опытах: на первый аквариум действовал сотовый телефон с нейтрализатором, а на второй – сотовый телефон без нейтрализатора. Третий аквариум использовался в качестве контрольного. Все аквариумы были оснащены фильтрами для очистки воды, аэраторами и термодатчиками. Велся контроль состояния воды с помощью pH-метра. Регистрация двигательной активности *in vivo* (ДА) рыб проводилась с помощью web-камер Logitech и Creative. Видеосъёмка требует специальных условий освещения, защиты поля зрения камер от побочных источников помех, обеспечения защи-

Рис. 2. Изучение физиологии поведения популяции золотой рыбки
Carassius Auratus japonicus flabellicaudatus, Slutsky, 1985

ты животных от дополнительных и нежелательных источников раздражения (освещения, шума) и сохранения покоя при достаточном снабжении кислородом. Необходим комфортный режим для работы телефонных аппаратов, компьютеров и т. д. Структура метода регистрации ДА рыб показана на рис. 1.

Методика должна обеспечить объективную автоматизированную оценку ДА для заданных периодов времени и предполагает минимальное участие человека на всех этапах получения и обработки данных.

На схеме (рис. 3) расшифрована структура метода регистрации активности рыб.

На I этапе получен файл видеоданных (фильм, хранящийся на жестком диске ПК).

На II этапе после математической обработки фильма получают первичную кривую ДА рыб, т. е. временной ряд чисел, характеризующий интенсивность движения рыб в каждый момент времени.

На III этапе после математической обработки первичной кривой ДА для выявления различных характеристик активности получают статистический материал – спектр плотности энергии активности для характерных биоритмов, статистические оценки, корреляционные функции и т. д.

На IV этапе формируются оценки, дающие представление о том, насколько измеренные характеристики ДА для определенного промежутка времени (биоритма) отклоняются от нормы поведения, т. е. имеется или нет аномальность в активности, исходя из опыта многолетних наблюдений и статистических данных.

Особо следует остановиться на характеристике подсистемы “обработка видеоизображения” (II этап). Она представляет собой набор программ с использованием стандартной библиотеки функций обработки изображений. Исходным для данного комплекса программ является фильм в формате AVI; результат работы – первичная кривая ДА и статистическая диаграмма расположения рыб (рис. 4).

Эта диаграмма представляет собой поверхность на трёхмерном графике, где координатная плоскость XY соответствует плоскости изображения, а координата Z каждой точки поверхности равна числу кадров, на которых точка с координатами (x, y) была белой. То есть чем выше лежит точка над плоскостью XY, тем дольше рыба находилась в этой области кадра за исследуемый промежуток времени.

Основные этапы математической обработки фильма показаны на рис. 5 и 6.

Таким образом, последовательность операций, выполненных для каждого кадра исходного фильма, дает зависимость числа белых точек на картинках за счет вычитания двух последовательных кадров, образуя первичную кривую ДА рыб.

Опыт обработки изображения по изложенному алгоритму показал трудоёмкость расчётов и их длительность. Поэтому ведется совершенствование и оптимизация программ. Далее рассмотрим реальные примеры визуализации результатов видеосъёмки в период облучения экосистем ЭМИ сотовой связи.

Спектральная оценка двигательной активности рыб при кратковременном воздействии (08.01.2003). Для предварительной оценки результатов измерений и наблюдений за поведением рыб в течение кратковременного воздействия излучения сотовых телефонов (от 1 мин до 1 ч) выделены три блока графических материалов:

спектральная плотность энергии двигательной активности (ДА) за периоды: 08.01.2003 в течение 16.46–17.40 и 09.01.2003 в течение 17.50–19.30;

диаграммы группового перемещения рыб в объёме аквариума в поле зрения web-камеры за период 08.01.2003 в течение 16.46–17.40;

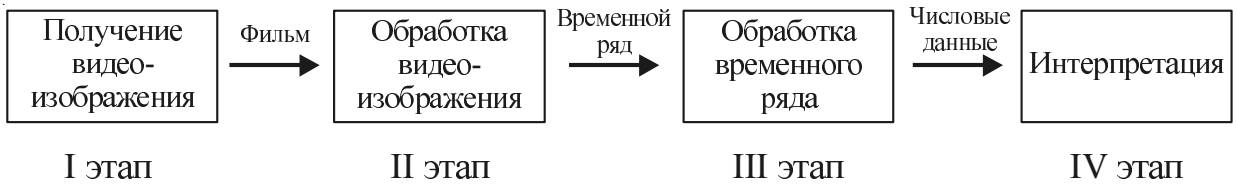


Рис. 3. Структура метода обработки видеосъёмки

усредненная спектральная плотность энергии ДА рыб за период 11.01.2003 в течение 10.30–13.30 (см. рис. 4).

Проведены кратковременные циклы облучения рыб в различных режимах функционирования ТА по 3 мин (статистика более ста опытов), длительное облучение от 1 ч до 1 сут (статистика 14 опытов), проведены спектральный и фрактальный анализы пульсаций ДА, получены оценочные данные по результатам съемки (*Hurst-exponent, Fractal Brownian motion coefficient, Spectral dimension*), статистические диаграммы

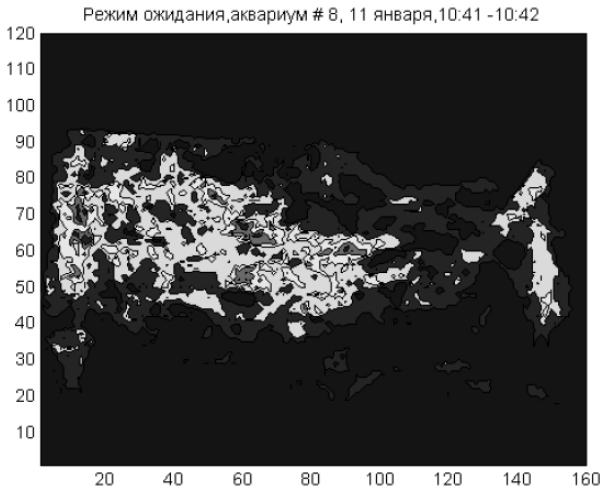


Рис. 4. Трёхмерный планшет плотности концентрации рыб в поле зрения web-камеры

плотности распределения рыб по аквариуму, выявлены спектральные энергетические зоны в распределении $G(f) \sim f^{-n}$, характеризующие поведение рыб.

Обнаружили различие в действии ЭМИ ТА в диапазоне 900/1800 МГц для двух принципиально разных условий жизнедеятельности животных:

угнетающая роль излучения при обычных условиях функционирования ТА;

защитная функция нейтрализаторов Фонда "Айрэс", проявившаяся в сохранении ДА при кратковременном экспонировании.

В лаборатории "Электрофизика природных экосистем" СПбГПУ изучалась двигательная активность аквариумных рыб *Carassius Auratus* автоматизированным методом видеосъёмки, который применен для этой цели впервые и находится в стадии совершенствования. Тем не менее известна острая необходимость выявления физиологической роли действия неионизирующего электромагнитного излучения (НЭМИ) современной аппаратуры сотовой связи на человека. Критерии безопасности не выявлены, средства нейтрализации последствий интенсивного облучения тканей головного мозга не нашли широкого применения ввиду недостаточной уверенности в их эффективности. С этой целью была проведена экспериментальная поисковая работа по выявлению эффекта применения нейтрализаторов ЭМ аномалий "Айрэс".

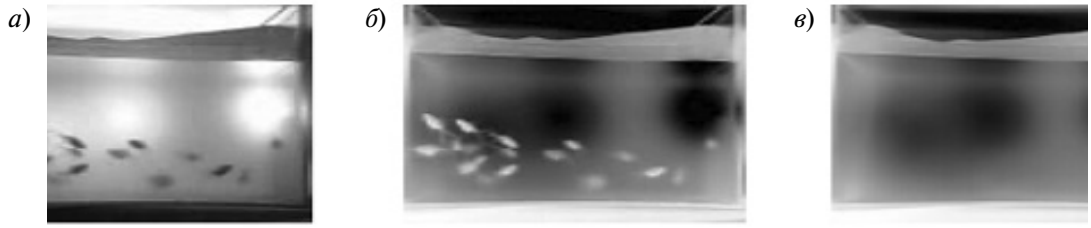


Рис. 5. Примеры кадров на разных этапах обработки фильма:
а – исходный фильм; *б* – после инвертирования; *в* – усредненный кадр

Рис. 6. Получение разности кадров для оценки интенсивности движения:
а и *б* – два последовательных кадра после пороговой обработки и фильтрации; *в* – разность кадров

На (рис. 7, *а*) представлены данные по фоновому состоянию активности рыб для двух типов аквариумов, а также для режима ожидания (рис. 7, *б*).

При звонке по телефонам существенной разницы в активности не отметили, но в режиме разговора разница была существенной (рис. 7, *б*) для тех же аквариумов: наблюдалось расслоение группы и погружение части популяции на дно (угнетение активности).

Как показывают диаграммы рис. 7, *г*, *д*, животные после воздействия ЭМИ даже после отдыха без аэратора и с аэратором не возвращаются в прежнее состояние, и активность их долгое время угнетена.

В НЦ СПбГПУ на кафедре "Гражданское строительство и прикладная экология" в течение длительного времени создавалась новая методика регистрации двигательной активности рыб путём анализа видеоизображений. Проведено много испытаний и получены обнадеживающие результаты, которые показывают, что такой подход может быть использован не только к водным экосистемам. Насекомые, сухопутные животные, даже растения, могут быть взяты в качестве экспериментального материала для изучения различных видов ЭМИ и их воздействия на отдельные экосистемы с различными вариантами содержания, питания, размножения и т. д. Поэтому целесообразно такую методику развивать, оптимизируя программы вычислений и повышая достоверность результатов при снижении материальных затрат.

Кроме рассмотренных результатов действия ЭМИ высокой частоты следует обратить внимание

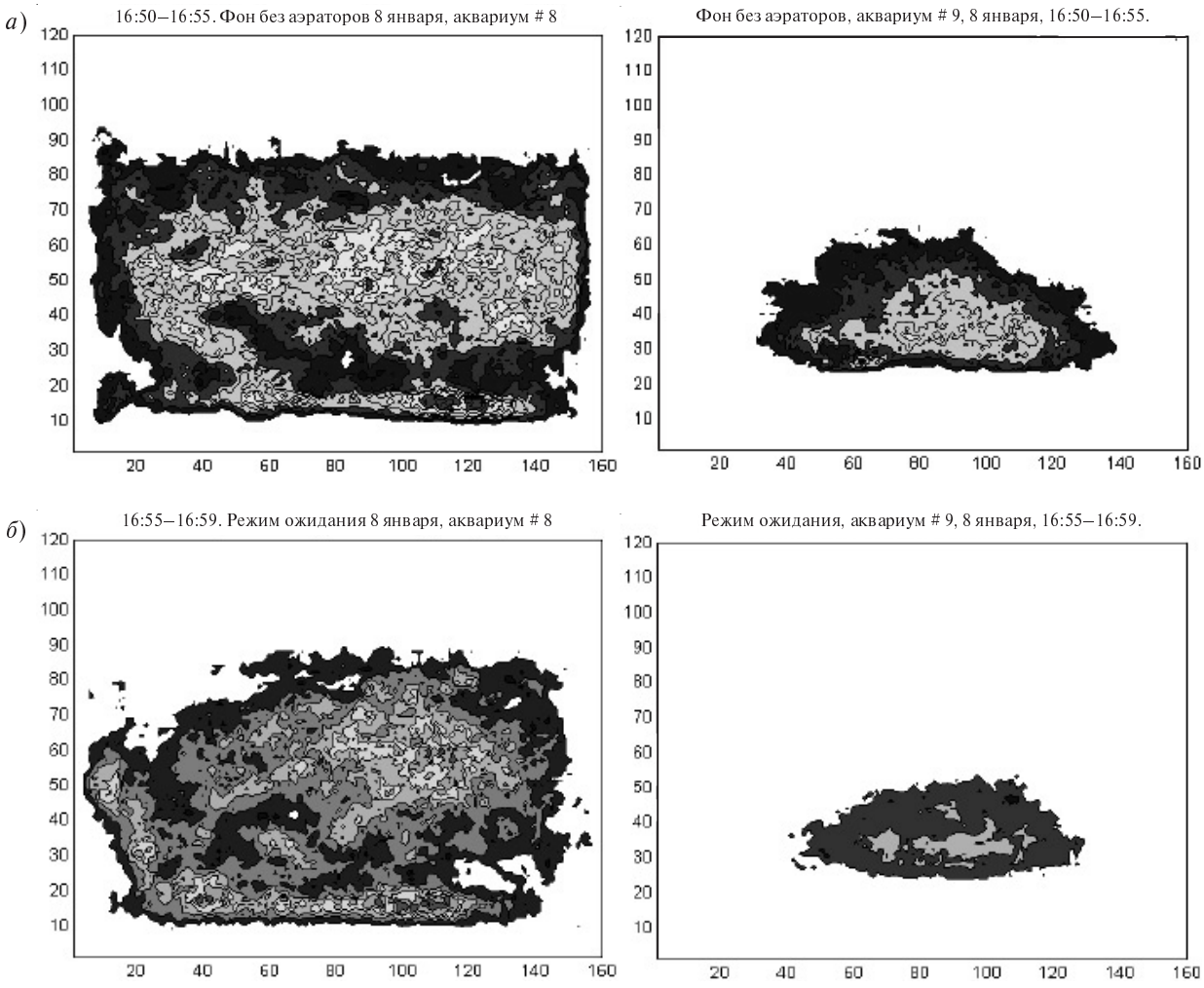


Рис. 7. Диаграмма группового перемещения рыб в объёме аквариума в поле зрения web-камеры

Продолжение рисунка на с. 52

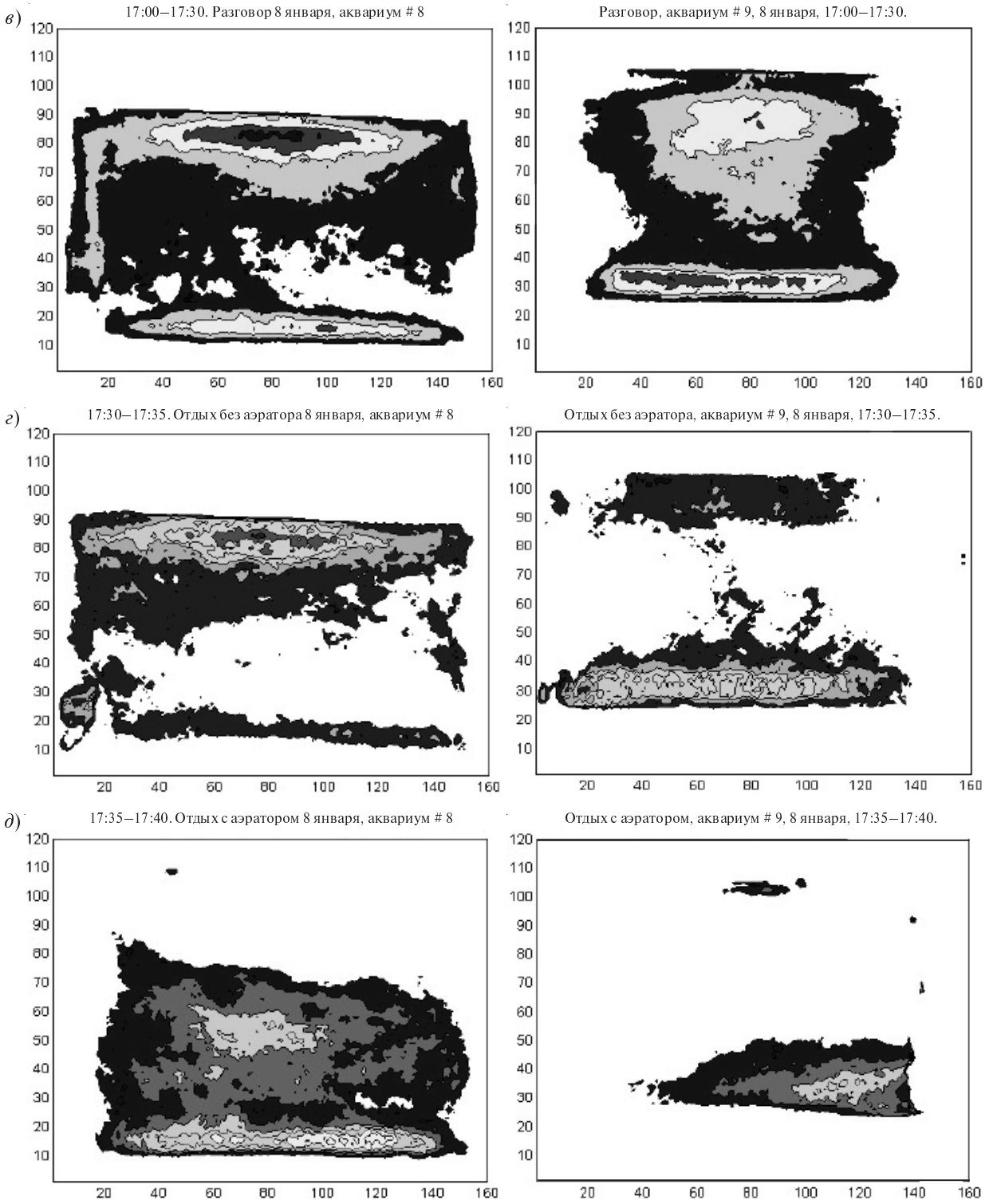


Рис. 7. Диаграмма группового перемещения рыб в объёме аквариума в поле зрения web-камеры

и на эволюционный аспект проблемы взаимодействия биообъектов с геомагнитным полем.

Известно, что аппроксимация геомагнитного поля плоским геоцентрическим диполем была постулирована К. Гауссом. Но современное представление о происхождении ГМП и его свойствах, изменяющихся на протяжении миллиардов лет, обосновано сравнительно недавно, оно

базируется на постулировании эффекта самовозбуждения магнитных полей вследствие движения проводящей жидкости или газовой плазмы – динамо-эффекта [3].

Динамо-эффект для Земли как космического тела обусловлен несовпадением оси вращения Земли и ее магнитной оси, и его связывают с конвективным движением проводящего вещества ее жидкого ядра и со всплытием в этой среде более легких примесей под действием архимедовой силы. Конвективные движения приподнимают силовые линии тороидального поля, и при определенных условиях они могут образовывать петли, которые потом сливаются с полоидальным полем и усиливают его.

Теория динамо-эффекта приводит также к возможности самообращения магнитной оси (переполюсовке магнитного поля Земли) и долгопериодическим колебаниям ГМП (вековым вариациям), что отражает реальные свойства земного магнитного поля.

Наше мнение заостряет внимание специалистов на том, что биообъекты, адаптированные в течение миллиардов лет к таким свойствам ГМП, в современных условиях попадают в поле воздействия ЭМИ высоких частот и теряют естественные физиологические свойства как целостного организма, так и его частей. Этим вполне объяснима угнетающая роль ЭМИ ТА при экспериментах [1, 3].

Авторы выражают признательность коллегам, студентам, инженерам, внесшим большой вклад в полученные результаты: М.П. Федорову, И.А. Цикину, И.Н. Серову, Д.А. Уставникову, О.Е. Богодист, Ю.М. Балагуле, А.Я. Сергееву, В.А. Ефремову, Н.В. Коровкину, В.А. Сороцкому, Д.И. Иванову, В.А. Тартыжеву, Л.А. Поповой, М.Ю. Александровой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров В.В.** Экологическая роль электромагнетизма. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2006. 716 с.

2. BioEM2009. Davos, Switzerland. Technical program. 2009. June 14–19. 58 p.

3. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл. 1983. С. 161.

УДК 621.375

Н.Н. Прокопенко, Д.Н. Конев, А.И. Серебряков

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ НУЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ С МЕСТНОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Радиационное и температурное воздействия изменяют напряжение эмиттер – база $U_{эб}$, обратный ток коллекторного перехода $I_{кб0}$ и коэффициент усиления по току базы (β) транзисторов. При этом два последних фактора приводят к нестабильности тока базы.

Для минимизации первой систематической составляющей $U_{см1}$, обусловленной дрейфом $U_{эб}$, применяются хорошо известные параллельно-балансные схемы дифференциальных каскадов (ДК), в которых обеспечивается взаимная компенсация нестабильности $U_{эб}$ двух одинаковых входных транзисторов ДК. В результате эта составляющая напряжения смещения, например операционных усилителей (ОУ), уменьшается: $U_{см1} \approx 0$.

Что касается второй составляющей $U_{см2}$, зависящей от изменений β транзисторов ОУ, то методы ее минимизации в публикациях по микросхемотехнике не рассматривались. Чтобы получить $U_{см2} \approx 0$, необходимы специальные архитектурные решения входного ДК и его выходной подсхемы буферного усилителя (БУ), в которых реализуются эффекты взаимной

компенсации абсолютных значений токов базы и их приращений, обусловленных температурной, радиационной или режимной зависимостью параметров транзисторов.

Анализ современных операционных усилителей с одним выходом показывает, что большинство их схем приводятся к архитектуре рис. 1, *а*, в которой можно выделить высокоимпедансный узел *A*, обеспечивающий суммирование выходных токов I_3 и I_4 обобщенного входного дифференциального каскада и входного тока $I_{БУ}$ выходной подсхемы БУ:

$$I_3(\beta_{in}, \beta_{jp}, I_{ij}, u_{вх}) = \\ = I_4(\beta_{kn}, \beta_{mp}, I_{km}, u_{вх}) + I_{БУ}(\beta_{sn}, \beta_{fp}, I_{sf}),$$

где I_{ij}, I_{km}, I_{sf} – координаты источников тока, устанавливающих статический режим транзисторов схемы; β_{in}, β_{kn}, β_{sn}; β_{ip}, β_{mp}, β_{fp} – коэффициенты усиления по току базы *p–n–p*-и *n–p–n*-транзисторов, влияющих на токи узлов *3, 4* и входной ток ($I_{БУ}$) буферного усилителя.

В качестве частного случая рассмотрим дифференциальный усилитель (ДУ) с местной отрицательной обратной связью, которая обеспечивается резистором *R*1, включенным между эмиттерами входных транзисторов ДУ (рис. 1, *б*). Такие ДУ используются в быстродействующих операционных усилителях и характеризуются расширенным диапазоном линейной работы. Если в статическом режиме ($u_{вх} = 0$) сумма токов в узле *A* схемы рис. 1, *б* $I_p = I_{вых.ПТ1} - I_{вых2\ ДК1} - I_{БУ}$ при коротком замыкании узла А на эквипотенциальную общую шину не равна нулю ($I_p \neq 0$), то для компенсации статической ошибки ДУ в рабочем режиме необходимо на его дифференциальный вход (Вх. 1, Вх. 2) подавать некоторое напряжение, соответствующее эдс смещения нуля $U_{см2} \approx S_{ДУ}^{-1} I_p$, где $S_{ДУ} = i_A/u_{вх}$ – крутизна усиления входного ДК1 при коротком замыкании узла *A* на эквипотенциальную шину; $I_{вых.ПТ1}$ – выходной ток повторителя тока ПТ1; $I_{вых2ДК1}$ – ток коллектора транзистора *VT*2; $I_{БУ} = x_p I_{бp} + x_n I_{бn}$ – входной ток буферного усилителя.

Таким образом, одним из условий синтеза ДУ с малыми значениями второй систематической составляющей эдс смещения нуля ($U_{см2} \approx 0$) является такое построение его архитектуры и основных подсхем ДК1, ПТ1, БУ (рис. 1, *б*), при которых во всем диапазоне внешних воздействий (температура, радиация), а также режимных изменений параметров транзисторов и их статических токов при вариациях напряжений питания будет обеспечиваться равенство $I_{вых.ПТ1} = I_{вых2\ ДК1} + I_{БУ}$. Минимизация систематической составляющей $U_{см2}$ – это "зона ответственности" схемотехников, разрабатывающих аналоговую микросхему.

В зависимости от знака входного тока БУ ($I_{БУ}$), а также свойств конкретной базовой архитектуры ДУ, которую необходимо модернизировать для уменьшения $U_{см2}$, обусловленной влиянием β транзисторов, возможен синтез различных схем ДУ, обладающих высокой стабильностью нулевого уровня.

Найдем ограничения на уровни токов смещения $I_{см\ i}$ относительно идеальных проходных характеристик входного каскада (ДК1) и токового зеркала (ПТ1) при произвольных значениях и знаке входного тока БУ ($I_{БУ}$), полагая, что эти смещения обусловлены влиянием деградирующих под действием радиации токов базы *p–n–p*-и *n–p–n*-транзисторов (рис. 2).

В зависимости от схемотехники функциональных узлов ДК1, ПТ1, БУ их смещения нуля могут быть как положительными, так и отрицательными. Поэтому коэффициенты k_i, ξ_i, x_i, характеризующие $I_{см\ i}$, принимают как положительные, так и отрицательные значения. За счет выбора свойств на постоянном токе подсхем ДК1, ПТ1 и БУ можно обеспечить малое результирующее смещение нуля $U_{см2}$ в архитектуре ДУ рис. 1, *б* и его температурный и радиационный дрейф.

Будем считать, что каждая из подсхем ДК1, ПТ1, БУ (см. рис. 1, *б*) отличается от идеальной и имеет токовые координаты, смещенные относительно "идеального" уровня на величины:

$$I_{см3} = k_{p3} I_{б\,p} + k_{n3} I_{б\,n}; \quad (1)$$

$$I_{см4} = k_{p4} I_{б\,p} + k_{n4} I_{б\,n}; \quad (2)$$

$$I_{смПТ1} = \xi_{p1} I_{б\,p} + \xi_{n1} I_{б\,n}; \quad (3)$$

$$I_{БУ} = x_n I_{б\,n} + x_p I_{б\,p}, \quad (4)$$

где k_i, ξ_i, x_i – масштабные коэффициенты при токах базы $I_{б\,n}$, $I_{б\,p}$, характеризующие смещение нулевых уровней подсхем ДК1, ПТ1 и БУ.

Поэтому для узла *A* рис. 1, *б*

$$I_0 + k_{p3} I_{б\,p} + k_{n3} I_{б\,n} + \xi_{p1} I_{б\,p} + \xi_{n1} I_{б\,n} + x_n I_{б\,n} = \\ = x_p I_{б\,p} + I_0 + k_{p4} I_{б\,p} + k_{n4} I_{б\,n} \quad (5)$$

Последнее уравнение можно представить в виде

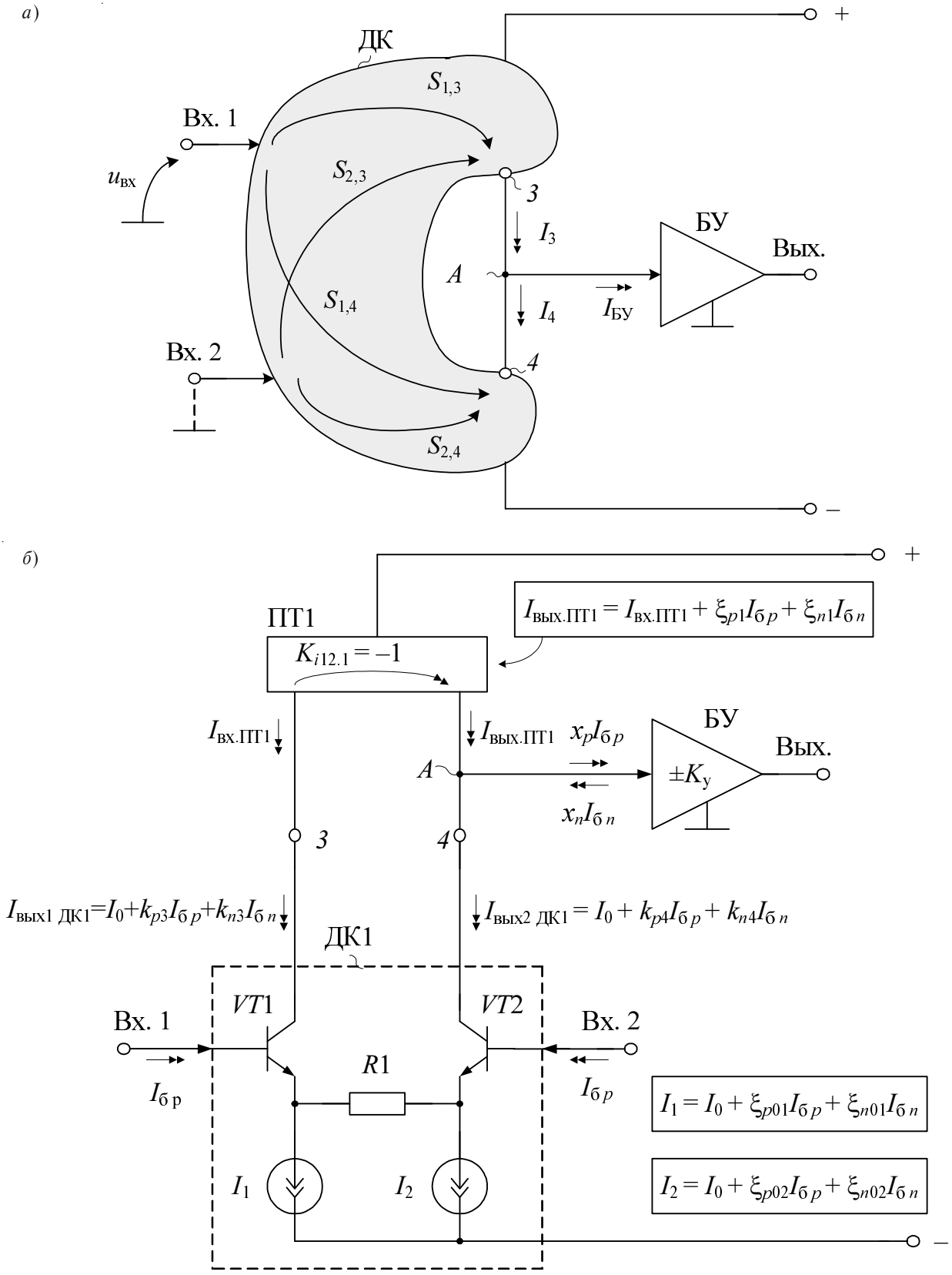


Рис. 1. Архитектура ДУ с малым $U_{см}$

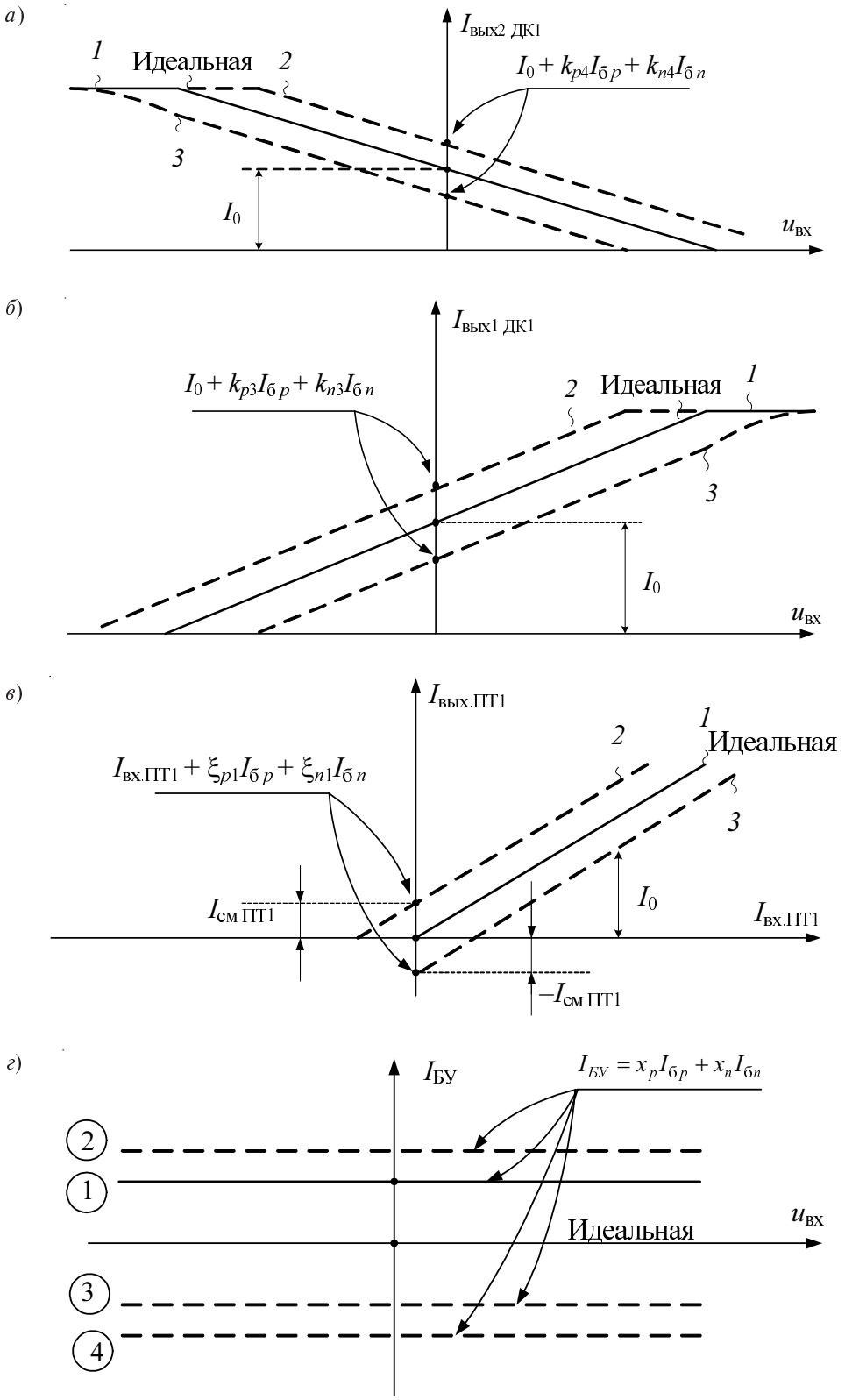


Рис. 2. Возможные варианты смещения характеристик подсхем ДК1 (*а, б*); ПТ1 (*в*); БУ(*г*), зависящие от численных значений и знаков масштабных коэффициентов k_i, ξ_i, x_i

$$I_{б\,n}(k_{n3} + \xi_{n1} + x_n - k_{n4}) = I_{б\,p}(x_p + k_{p4} - k_{p3} - \xi_{p1}). \quad (6)$$

Таким образом, для минимизации составляющей $U_{см2}$ необходимо синтезировать подсхемы ДК1, ПТ1, БУ, масштабные коэффициенты которых k_i, ξ_i, x_i при известных значениях токов базы $I_{б\,p}$ и $I_{б\,n}$, применяемых n–p–n-и p–n–p-транзисторов удовлетворяют условию (6). При этом целесообразно обеспечить:

$$k_{n3} + \xi_{n1} + x_n = k_{n4},\ k_{p3} + \xi_{p1} = x_p + k_{p4}. \quad (7)$$

На рис. 3 приведен пример синтеза ДК1 со слабой токовой асимметрией. Здесь буферный усилитель реализован в виде эмиттерного повторителя на n–p–n-транзисторе, следовательно, $x_n = 0$. Токовое зеркало ПТ1 (например, схема Вильсона) не имеет смещения нуля проходной характеристики ($\xi_{p1} = \xi_{n1} = 0$). Статические токи двухполюсников $I_1 = I_2 = I_0$.

Таким образом, коэффициенты k_i, ξ_i, x_i для подсхем ДК1, ПТ1, БУ ДУ рис. 3 имеют следующие значения:

$$k_{p3} = (2K_i - 2),\ k_{p4} = 2,\ x_n = 0; \quad (8)$$

$$\xi_{p1} = \xi_{n1} = \xi_{p01} = \xi_{p02} = \xi_{n01} = \xi_{n02} = 0; \quad (9)$$

$$2K_i = x_p, \quad (10)$$

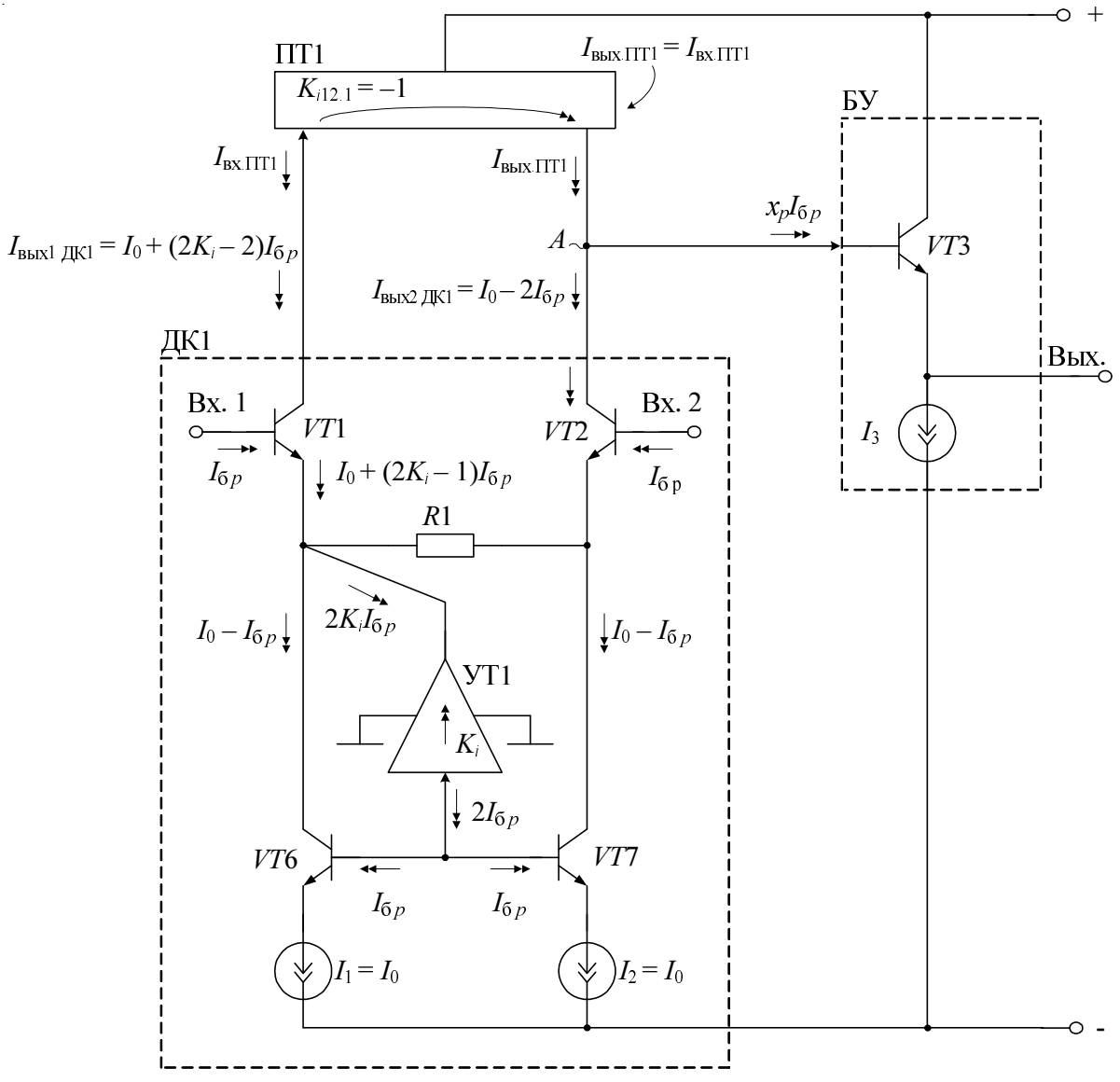


Рис. 3. Схема ДУ с дополнительной цепью терморадиационной компенсации [4]

где K_i – коэффициент передачи усилителя тока УТ1. При этом если $K_i = 1$, то $x_p = 2$.

На рис. 4 показаны схемы классического ДУ (рис. 4, *а*), а также ДУ, удовлетворяющего условиям (8) – (10) (рис. 4, *б*), в среде компьютерного моделирования PSpice на моделях интегральных транзисторов ФГУП НПП "Пульсар".

На рис. 5 приведены температурные зависимости напряжения смещения нуля сравниваемых схем (рис. 4). Из графиков рис. 5 следует, что в широком диапазоне температур напряжение смещения нуля в схеме рис. 4, *б* более чем на порядок меньше, чем в классическом ДУ рис. 4, *а*.

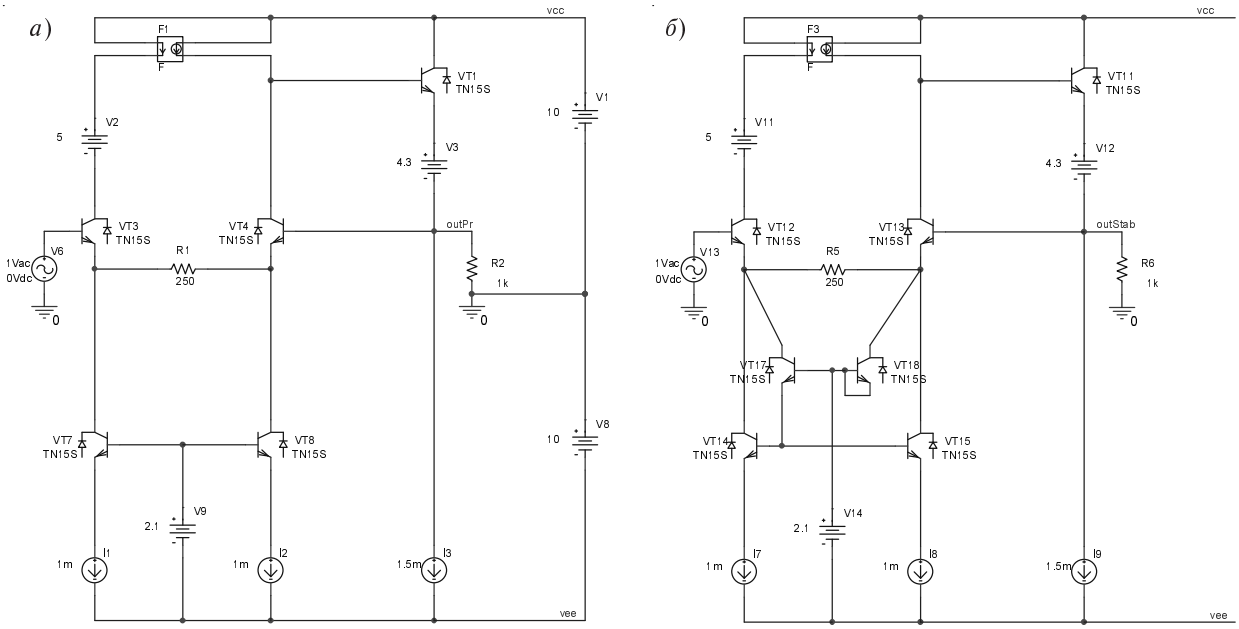


Рис. 4. Схемы классического ДУ (*а*) и ДУ с компенсацией $U_{см2}$ (*б*) в среде PSpice

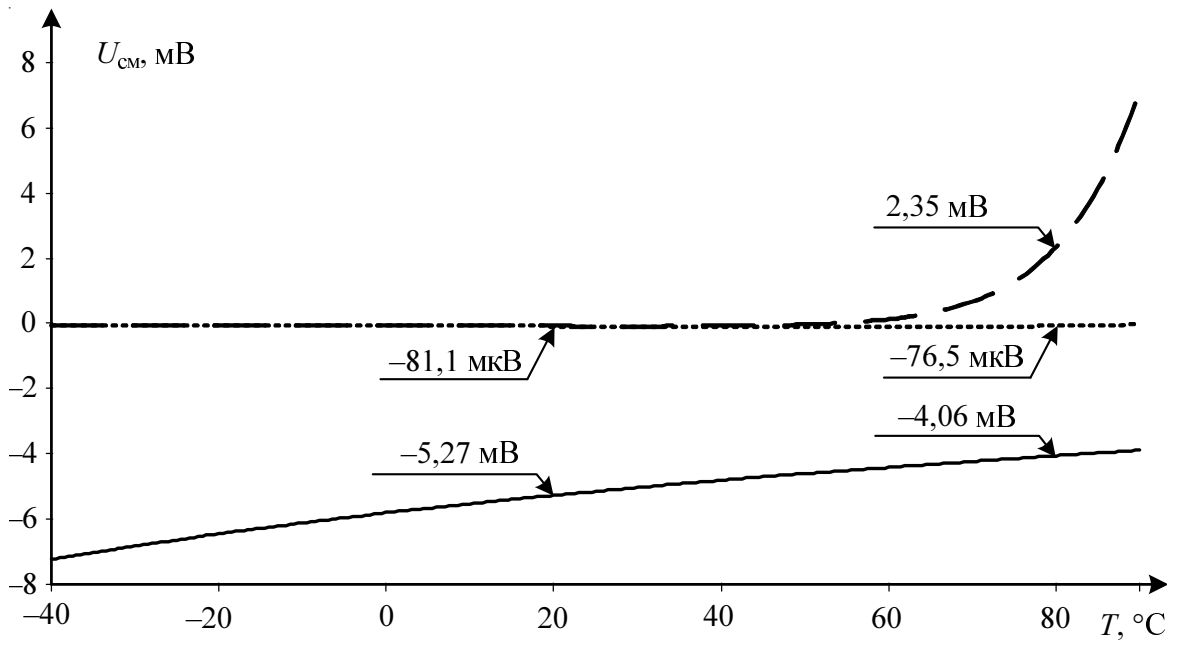


Рис. 5. Температурная зависимость $U_{см}$ сравниваемых ДУ
Классическое решение ДУ (————); новая схема ДУ (– – – –); новая схема ДУ с VT18 (----------)

Приведенные в [1–4] примеры иллюстрируют методику синтеза ОУ с архитектурой рис. 1, *б*.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Для минимизации систематической составляющей напряжения смещения нуля операционного усилителя масштабные коэффициенты k_{n3}, ξ_{n1}, x_n, k_{n4} и k_{p3}, ξ_{p1}, x_p, k_{p4} применяемых в них функциональных узлов следует выбирать в соответствии с равенством (7). Это позволит за счет введения слабой токовой ассиметрии уменьшить на один-два порядка статическую погрешность ОУ, обусловленную конечной величиной β транзисторов и его радиационной (или температурной) зависимостью.

В связи с большим многообразием вариантов построения трех функциональных узлов операционного усилителя (ДК1, ПТ1, БУ), одновременно удовлетворяющих условиям (7), можно синтезировать более тысячи практических схем с малым напряжением смещением нуля.

Статья подготовлена в рамках госконтракта П507 ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каскодный операционный усилитель с малым напряжением смещения нуля [Текст]: заявка на патент РФ, МПК8 H 03 F 3/45, H 03 F 3/34 / Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Будяков П.С. № 2009119092/09; заявл. 20.05.2009 (186(В)).

2. Каскодный дифференциальный усилитель с малым напряжением смещения нуля [Текст]: заявка на патент РФ, МПК8 H 03 F 3/45, 3/34 / Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Будяков П.С. № 2009119631/09; заявл. 25.05.2009 (195).

3. Каскодный дифференциальный усилитель с малым напряжением смещения нуля [Текст]: заявка на патент РФ, МПК8 H 03 F 3/45, 3/34 / Прокопенко Н.Н., Будяков П.С., Серебряков А.И. № 2009119952/09; заявл. 26.05.2009 (194).

4. Дифференциальный усилитель с малым напряжением смещения нуля [Текст]: заявка на патент РФ, МПК8 H 03 F 3/45, 3/34/ Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Будяков П.С. № 2009120332/09; заявл. 28.05.2009 (188).

УДК 621.39:574.5

В.В. Александров, Б.В. Александров

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА СПЕКТРА ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Посвящается памяти профессора кафедры теоретических основ электротехники СПбГПУ докт. техн. наук И.Ф. Кузнецова

Современные проблемы безопасности жизнедеятельности в значительной степени обусловлены неионизирующим электромагнитным излучением (ЭМИ) систем сотовой радиосвязи. Крупные капиталовложения в проведение научных фундаментальных и прикладных исследований до сих пор не дают однозначных ответов для оценки опасности или безопасности повсеместного применения сотовой связи. Достижения последних трех–пяти лет показывают, что медицинские аспекты проблемы крайне обострены и далеки от разрешения [1, 2].

Лаборатория электрофизики естественных экосистем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в течение десяти лет проводила экологическую оценку действия ЭМИ различных источников на магнитное поле среды обитания вблизи телефонных аппаратов (ТА) сотовой связи. Потребитель, как правило, используя ТА, близко подносит его к

височной области головы и слуховому нерву, и создаются условия непосредственного влияния энергии излучения на нейрональную систему мозга. Попытки исключить или, по крайней мере, снизить влияние ЭМИ теоретически обоснованы в Фонде новых медицинских технологий "Айрэс", на основании которого созданы матричные преобразователи-аппликаторы самых различных модификаций, которые применяются для электронной аппаратуры. Такие преобразователи наклеиваются на изделие с тыльной стороны в районе антенны.

Цель исследования:

выявить изменение естественного геомагнитного поля $\mathbf{B}_z$ в объёме пространства в ближней зоне ТА различных конструкций и модификаций;

оценить изменчивость $\mathbf{B}_z$ при использовании различных режимов функционирования ТА;

испытать матричные преобразователи-аппликаторы конструкции Фонда новых медицинских технологий "Айрэс";

определить пороги индукции $\Delta\mathbf{B}_z$ при снижении влияния излучения для различных способов получения информации потребителем.

Для решения поставленных задач предварительно обследовались электромагнитные поля (ЭМП) помещения и применявшейся аппаратуры сотовой связи (ТА) и оптимально размещалась установка, включившая в себя: источники ЭМИ (ТА), аквариумы с рыбами (два опытных, один – контрольный), ПЭВМ, оснащенные web-камерами, а также комплект контроля переменных магнитного и электрических полей в лаборатории. В комплект входили: преобразователь магнитной индукции ПМИ НЕВА-5 (рис. 1) и измеритель переменного ЭП (НЕВА-Эн); измеритель квазипостоянного МП тесламетр НЕВА-4 (рис. 2); конструкции и аттестации Государственного научного центра ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова (фирма ЭТН, Санкт-Петербург) [1].

Краткие технические характеристики приборов представлены в [1].

Для проведения экспериментов использовалась операционная система Windows XP на трех компьютерах следующего наполнения:

Intel Celeron 764 МГц, 128 Мб, HDD – 40 ГГб, web-camera Creative;

Intel Celeron 1100 МГц, 128 Мб, HDD – 30 ГГб, web-camera Logitech;

Intel Celeron 433 МГц, 128 Мб, HDD – 4 ГГб, CDRW 40.

Микроструктура квазипостоянного ЭМИ ТА

Оценка состояния магнитного поля в аудиториях СПбГПУ. Для работы выбиралась горизонтальная сетка 0,5×0,5м и два уровня по вертикали: на высоте 0,7 и 1,5 м от пола. Характерные примеры диаграмм распределения уровня магнитного поля $\mathbf{B}_z$ в помещении представлены на рис. 3 и 4 (опыты 2008 года).

Магнитным фоном для исследуемого помещения является величина 48 мкТл (± 2,5 %).

Значения вектора магнитной индукции изменяются (мкТл) в пределах:

с включенным электропитанием 20,8–86,4 (0,7 м над полом) и 23,4–56,0 (1,5 м над полом);

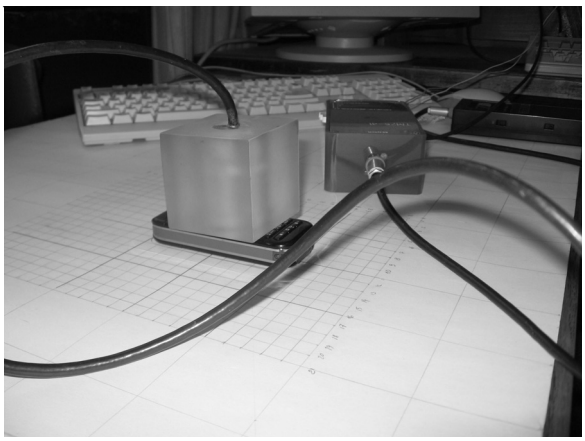


Рис 1. Преобразователь магнитной индукции ПМИ НЕВА-5 для регистрации многосуточного цикла данных и их картирования

Рис. 2. Тесламетр НЕВА-4 для измерения постоянной и переменной составляющих вектора индукции магнитного поля $\mathbf{B}_z$

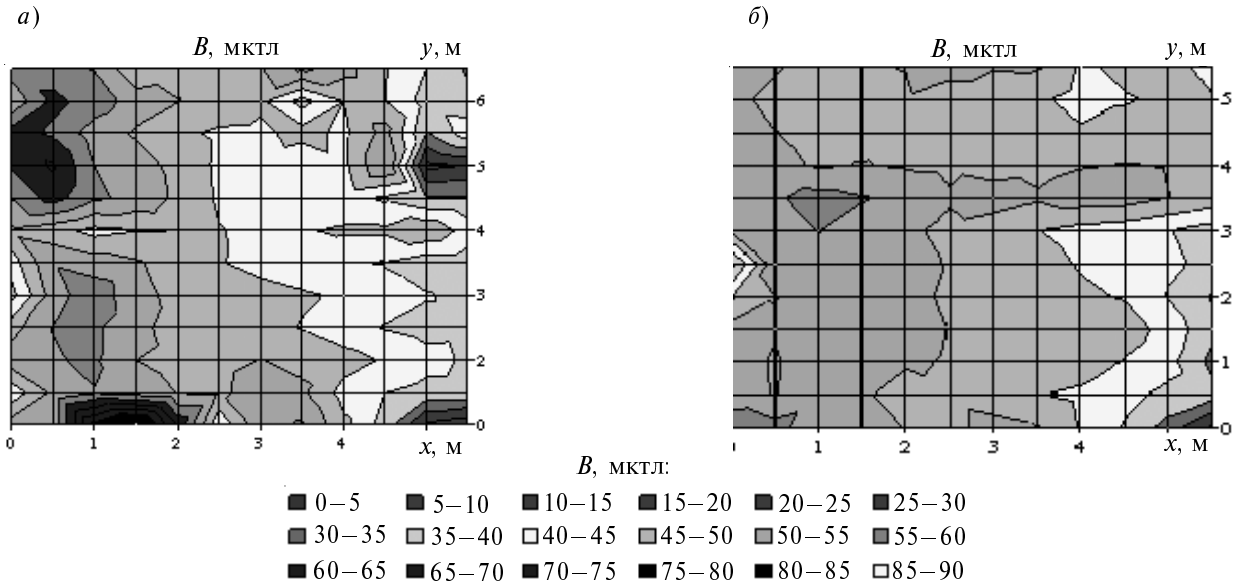


Рис. 3. Распределение магнитного поля в аудитории на уровне 0,7 м от пола с включенным электропитанием (*а*) и без электропитания (*б*)

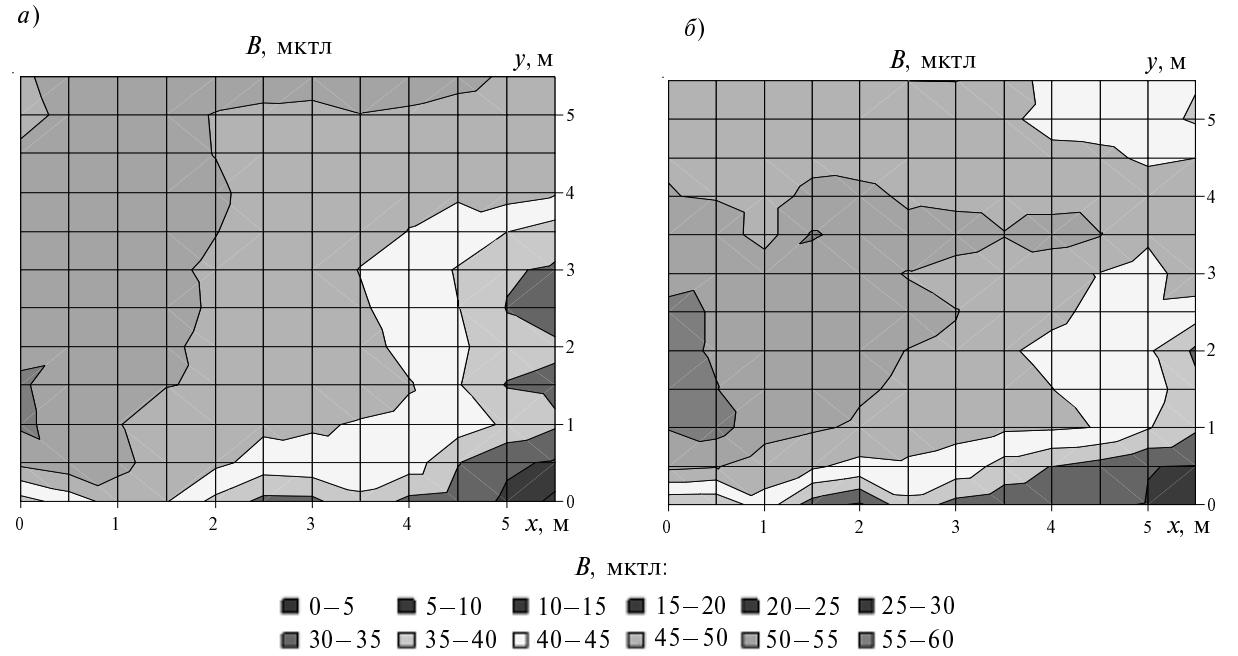


Рис. 4. Распределение магнитного поля в аудитории на уровне 1,5 м от пола без электропитания (*а*) и с включенным электропитанием (*б*)

без электропитания 23,5–57,2 (0,7 м над полом) и 29,1–56,8 (1,5 м над полом).

Сопоставляя диаграммы распределения уровня магнитного поля в помещении и план этого помещения, определяли источники магнитных аномалий.

Электрическим фоном для лаборатории можно условно принять напряженность 0,005–0,01 кВ/м

при отключенном и включенном электропитании. Значения вектора напряженности ЭП $\mathbf{E}_z$ (кВ/м) изменяются в пределах:

при отключенном электропитании 0,005–0,050 (0,7 м) и 0,005–0,100 (1,5 м);

при включенном электропитании 0,005–0,200 (0,7 м) и 0,005–0,160 (1,5 м).

Таким образом, на основании тщательно измеренных значений $\mathbf{B}_z$ и $\mathbf{E}_z$ и исходя из реальных возможностей помещения были выбраны площадки (на столах) для размещения предполагаемых биологических объектов (экосистем), действующих источников облучения (телефоны) и web-камеры регистраторов.

Оценка состояния индукции Bz в пределах рабочей зоны. Рабочая площадка разделяется сеткой с шагом 5×5 см (S = 3600 см^2). В каждом узле сетки получают значение вертикальной составляющей $\mathbf{B}_z$.

Квазистационарное магнитное поле $\mathbf{B}_z$ изменялось, как правило, в пределах 40–65 мкТл. Для Северо-Западного региона фоновое значение составляет 48 мкТл. Получив карту распределения индукции $\mathbf{B}_z$ в пределах экспериментальной площадки и определив зону фонового значения магнитной индукции, в этой зоне проводят дальнейшие измерения излучения интересующего нас объекта.

Пространственная модель микроструктуры $\mathbf{E}_z$ и $\mathbf{B}_z$ в ближней зоне телефонного аппарата сотовой связи. В пределах рабочей зоны выявляют площадку с фоновыми значениями магнитной индукции. Её разделяют сеткой с шагом 1×1 см. На площадку помещают, например, сотовый телефон Nokia 3110 с нейтрализатором AIRES и изучают структуру электрического и магнитного полей в ближней зоне сотового телефона в стационарном режиме.

Очевидно, что рассчитать пространственную структуру изменения таких полей, учитывая массу побочных источников, весьма сложно, а моделирование также даст лишь идеализированную картину. Поэтому было произведено измерение электрического и магнитного полей вблизи ТА в режиме звонка на реальных расстояниях от оси ориентации приборов (рис. 5 и 6).

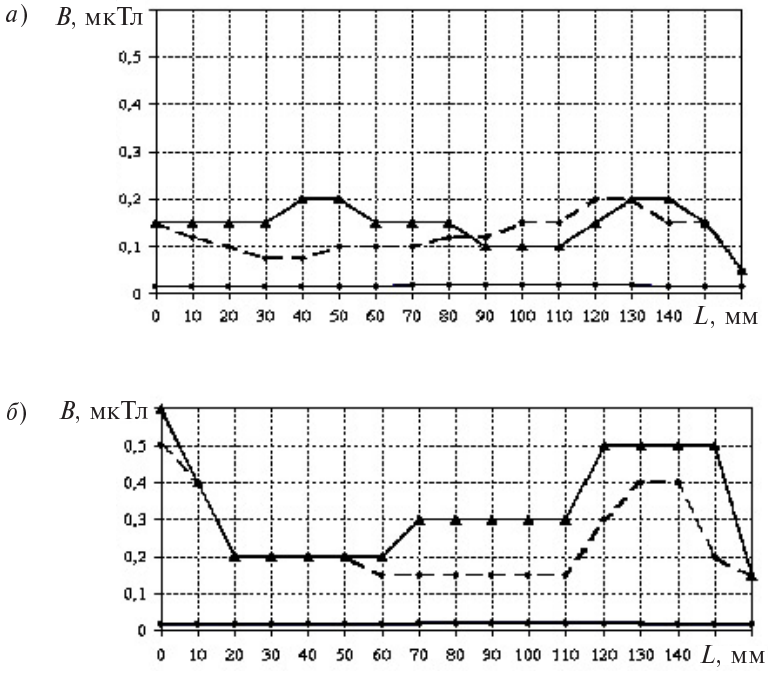


Рис. 5. График изменения напряжённости электрического поля вдоль сотового телефона с нейтрализатором (*а*) и без нейтрализатора (*б*)
Режим ожидания (—•—); режим звонка (– • –); режим разговора (—▲—)

Отличительная черта объёмных структур – убедительная разница их для ТА в обычном режиме работы и для ТА с нейтрализатором: его наличие обусловливает двухвершинное распределение (рис. 7) электрического и магнитного полей, причем максимальная амплитуда $\mathbf{E}_z$ примерно в два раза меньше, чем для ТА без нейтрализатора, хотя амплитуды по $\mathbf{B}_z$ весьма близки (рис. 6).

Структура переменной компоненты $\mathbf{B}_z$. При изучении процесса влияния ЭМИ сотового телефона на среду обитания мы столкнулись с проблемой электромагнитной совместимости технических средств, биологических объектов и изменчивости геофизических факторов (в частности, ГМП). Выяснилась очень интересная подробность при анализе и интерпретации колебаний МП в лаборатории, которые мы регистрировали как фоновую характеристику в реальном амплитудно-временном масштабе. Тем более это стало важным теперь, когда нужны нюансы при оценке слабых воздействий. На рис. 8 представлены реализации колебаний МП в лаборатории, характеризующие помехи, обусловленные работой ТА. Телефонные аппараты помещали возле магнитометрического датчика и точно отмечали время воздействия ЭМИ в режиме ожидания или в режиме звонка. Применяли попеременно аппараты без "нейтрализатора" и с "нейтрализатором" в течение 400 с. В режиме звонка ЭМИ ТА без "нейтрализатора" индуцирует нарастающий сигнал, который в итоге смещает средний условный фоновый уровень магнитных колебаний (рис. 8, *б* участок α) почти в шесть раз в направлении "+", при этом амплитуда колебаний также возрастает примерно в два раза. Самым неприятным здесь оказывается последующее состояние датчика МП, у которого отключается автокомпенсация постоянной составляющей компоненты $\mathbf{B}_z$, и условный фоновый уровень становится новым. При автоматической компьютерной регистрации МП это может привести к появлению неконтролируемых ошибок. При использовании ТА с "нейтрализатором" картина вполне удовлетворительная: соответствующий участок звонка (рис. 8, *в*, участок β) выделяется также ростом амплитуды колебаний примерно в 1,5–2 раза, но условный фоновый уровень не смещается и автокомпенсация датчика не нарушается. Таким образом достигается гармонизация в электромагнитной совместимости между аппаратурой и естественным фоном среды обитания. Мы полагаем, что это является серьёзным достижением защитного устройства AIRES.

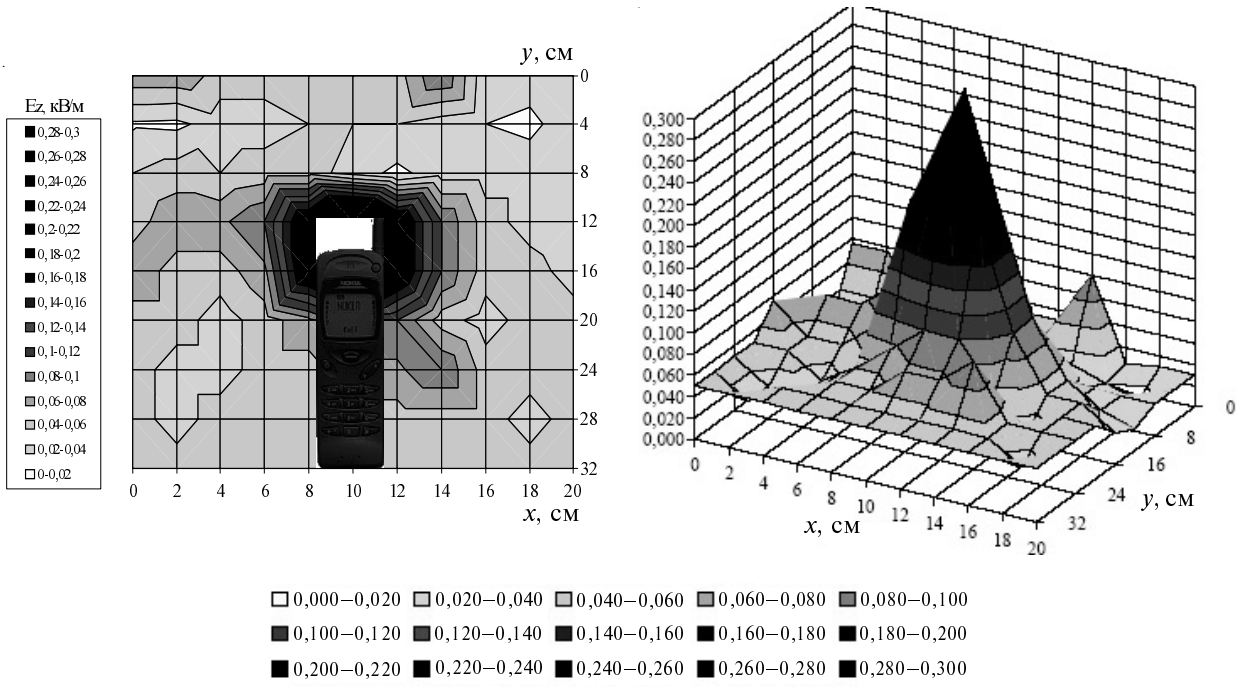


Рис. 6. Электрическое поле вокруг сотового телефона Nokia 3110 без нейтрализатора во время звонка

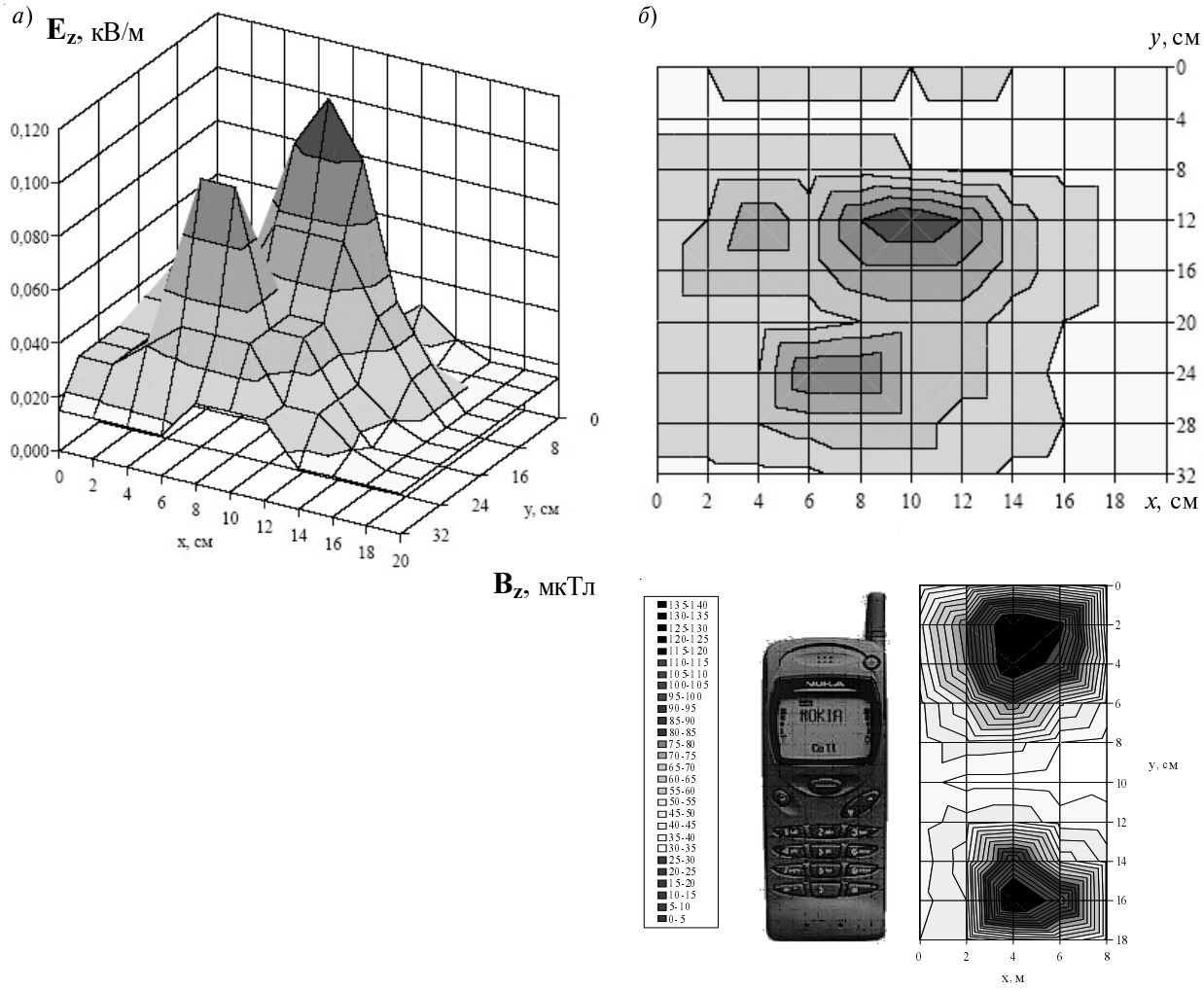


Рис. 7. Электрическое (*а*) и магнитное (*б*) поля вокруг сотового телефона Nokia 3110 с нейтрализатором во время звонка

Нужны глубокие экспериментальные проработки и статистические данные для получения окончательных рекомендаций и оценок.

Спектральная характеристика ЭМИ сотового ТА. Преобразователь магнитной индукции "Нева-5" регистрирует флуктуационную часть ΔB_z при компенсации постоянного геомагнитного поля ГМП, и частотный спектр ЭМИ заведомо не известен. Следовательно, если регистрация идет в широком спектре частот, причём наша методика допускает разрешение 0,001 с, результирующий эффект будет зависеть именно от этого, и диапазон анализируемого излучения будет в пределах 0–500 Гц. Таким образом, при излучении в диапазоне 900/1800 МГц мы заведомо фильтруем высокочастотную часть спектра и получаем оценочные результаты.

Измерения проводились в четырёх режимах функционирования сотового телефона (ожидание, звонок, разговор и приём текстового сообщения).

Чтобы получить объективную информацию и исключить ошибки, измерения проводились пять дней для двух телефонов по три раза, и каждое измерение длилось по 4 мин (телефонный аппарат находился 1 мин в режиме ожидания, 1 мин шел звонок, 1 мин длился разговор и снова шла 1 мин ожидания). Приём текстовых сообщений проводился с начала второй минуты эксперимента. Измерения проводились на нулевом расстоянии от ПМИ "Нева-5".

Для каждого измерения была построена спектрограмма $G(f, t)$, где f – частота флуктуации ΔB_z, регистрируемая ПМИ "Нева-5"; t – время,

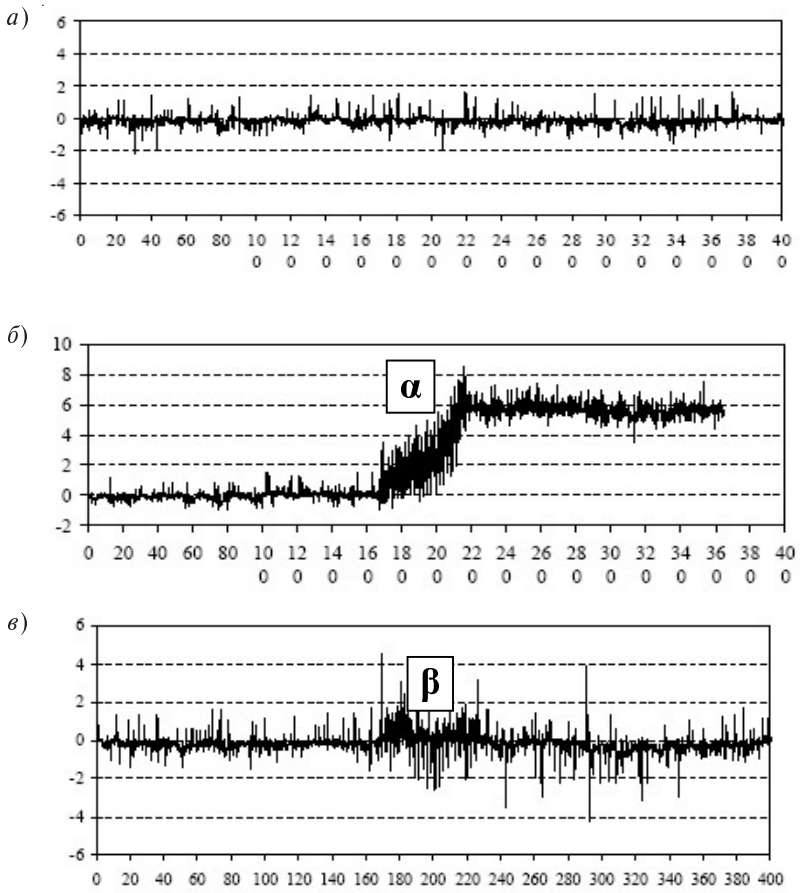


Рис. 8. График изменения вертикальной составляющей переменного магнитного поля около сотового телефона в режиме ожидания (*а*), звонка (*б*) и звонка с "нейтрализатором" (*в*)

в течение которого длился процесс ЭМИ от источника; $G(f, t)$ – функция спектральной плотности энергии магнитного поля. Затем эти спектры усреднили и построили общую спектрограмму.

Обработка реализаций проводилась с помощью пакетов анализа Microsoft Excel. Каждая запись разбивалась на одинаковые временные отрезки для вычисления спектров на основе метода быстрого преобразования Фурье. Полученные спектры собирали вместе, и для этого массива производилось построение временных спектрограмм (рис. 9, *а, б, в*):

по горизонтали (ось *x*) откладывалось время *t* (0–240 с), *t* (0–120 с);

по вертикали (ось *y*) откладывалась частота *f* (0–500 Гц);

по ортогонали к плоскости чертежа в виде градаций цвета откладывалась функция спектральной плотности $G(f, t)$.

Результаты измерений представлены на спектрограммах флуктуаций плотности энергии магнитного поля (рис. 9) для разных ТА и в режиме приёма сообщений.

На рис. 10 представлены спектральные функции флуктуирующего магнитного поля, излучаемого аппаратами сотовой связи в течение 0–2600 с для различных режимов работы. Как видно, в зависимости от режима (ожидание или приём текстового сообщения) минимум спектра смещается в более высокочастотную область излучения.

Кроме того, представлены спектрограммы плотности энергии $\mathbf{B}_z$ в иных условиях измерения и для других ТА (рис. 11) с учётом защитных устройств Фонда "Айрэс".

Известно, что тонкие измерения, которые проводились нами на протяжении многих лет, могут быть связаны с погрешностями. Поэтому

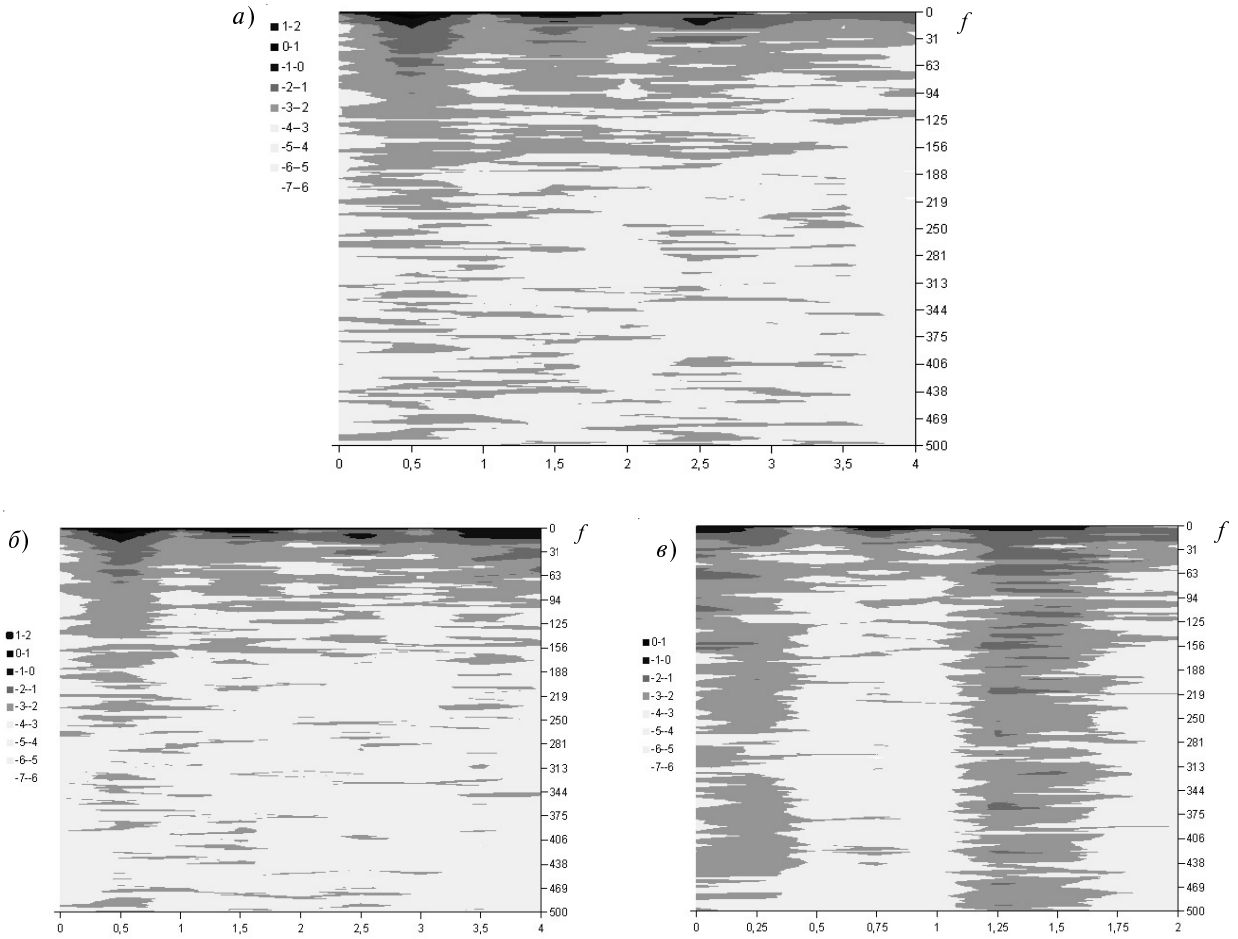


Рис. 9. Микроструктура спектральной плотности энергии магнитного поля $G(f, t)$ в ближней зоне технического устройства сотовой телефонной связи: *а* – Samsung Duos D-880 (ожидание, звонок, разговор, ожидание); *б* – Sony Ericsson W700i (ожидание, звонок, разговор, ожидание); *в* – Sony Ericsson W700i (ожидание, приём текстового сообщения)

весьма необходима достоверность, обусловленная геомагнитной обстановкой в Северо-Западном регионе.

С этой целью выбираются особые дни, когда космическая погода благоприятна. В частности, измерения в 2008 году проводились в течение пяти дней: 01.10.08, 03.10.08, 06.10.08, 09.10.08, 13.10.08 (рис. 12). В эти дни геомагнитная обстановка в Северо-Западном регионе была спокойной (только 03.10.08 наблюдались геомагнитные возмущенная). При этом по данным ИЗМИРАН (Институт земного магнетизма и распространения радиоволн Российской академии наук), пятнообразовательная активность Солнца прошедшего периода была на очень низком уровне. Вспышечная активность была на очень низком уровне весь период. В остальные дни геомагнитная обстановка была спокойной и слабо возмущенной [www.izmiran.ru].

Экспериментальными исследованиями, проведенными в лаборатории электрофизики водных экосистем Учебно-научного центра "Мониторинг и реабилитация природных систем" СПбГПУ установлено, что кроме основного несущего сигнала на частотах 900/1800 МГц ТА в режимах звонка и разговора генерирует переменное электрическое поле в диапазоне 5–2000 Гц и переменное магнитное поле в диапазоне 5–500 Гц. Эти поля фиксируются аппаратными методами в ближней зоне непосредственно над поверхностью корпуса ТА на расстоянии нескольких миллиметров (в диапазоне 0–30 мм) и имеют сложное распределение в пространстве по корпусу

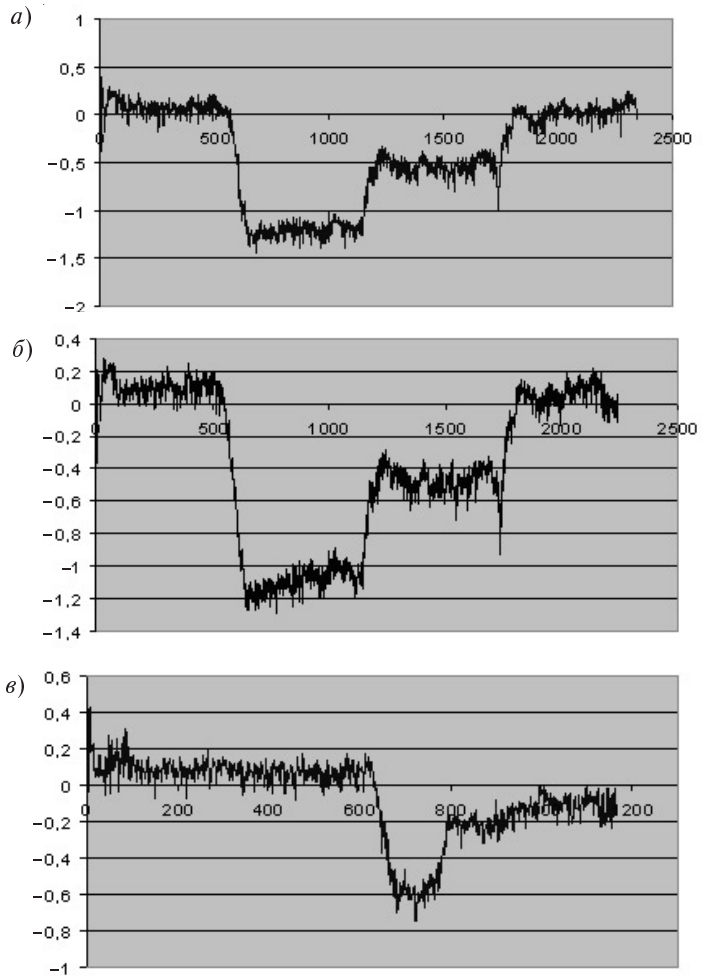


Рис. 10. Спектрограммы флуктуаций магнитной индукции $\mathbf{B}_z$ во времени для телефонных аппаратов сотовой связи
а – Samsung duos D-880 в режимах функционирования (ожидание, звонок, разговор, ожидание); *б* – Sony Ericsson W700i в режимах функционирования (ожидание, звонок, разговор, ожидание); *в* – Sony Ericsson W700i в режимах функционирования (ожидание, приём текстового сообщения)

телефона, как это представлено на соответствующем графике (см. рис. 5).

Человеческий мозг, равно как и весь человеческий организм, представляет собой весьма совершенную коллоидную систему со всем естественным спектром физических реакций, соответствующих таким системам. При приложении генератора электромагнитного поля (мобильного телефона) или антенного устройства непосредственно к голове или на расстоянии нескольких миллиметров от нее создаются условия для эффективной реализации ЭМАП (электромагнитного акустического преобразования) непосредственно в мозговой структуре. При этом чрезвычайно важным является то обстоятельство, что зафиксированные переменные электрические и магнитные поля лежат в крайне низкочастотном диапазоне и в соответствии с принципами ЭМАП будут преобразованы в звуковые колебания низкой и инфранизкой частоты, которые, как установлено еще экспериментами Роберта Вуда, чрезвычайно негативно и разрушительно воздействуют на человеческую психику и клеточный метаболизм. Пролонгированные неупорядоченные инфразвуковые колебания провоцируют деструкцию мозговой ткани

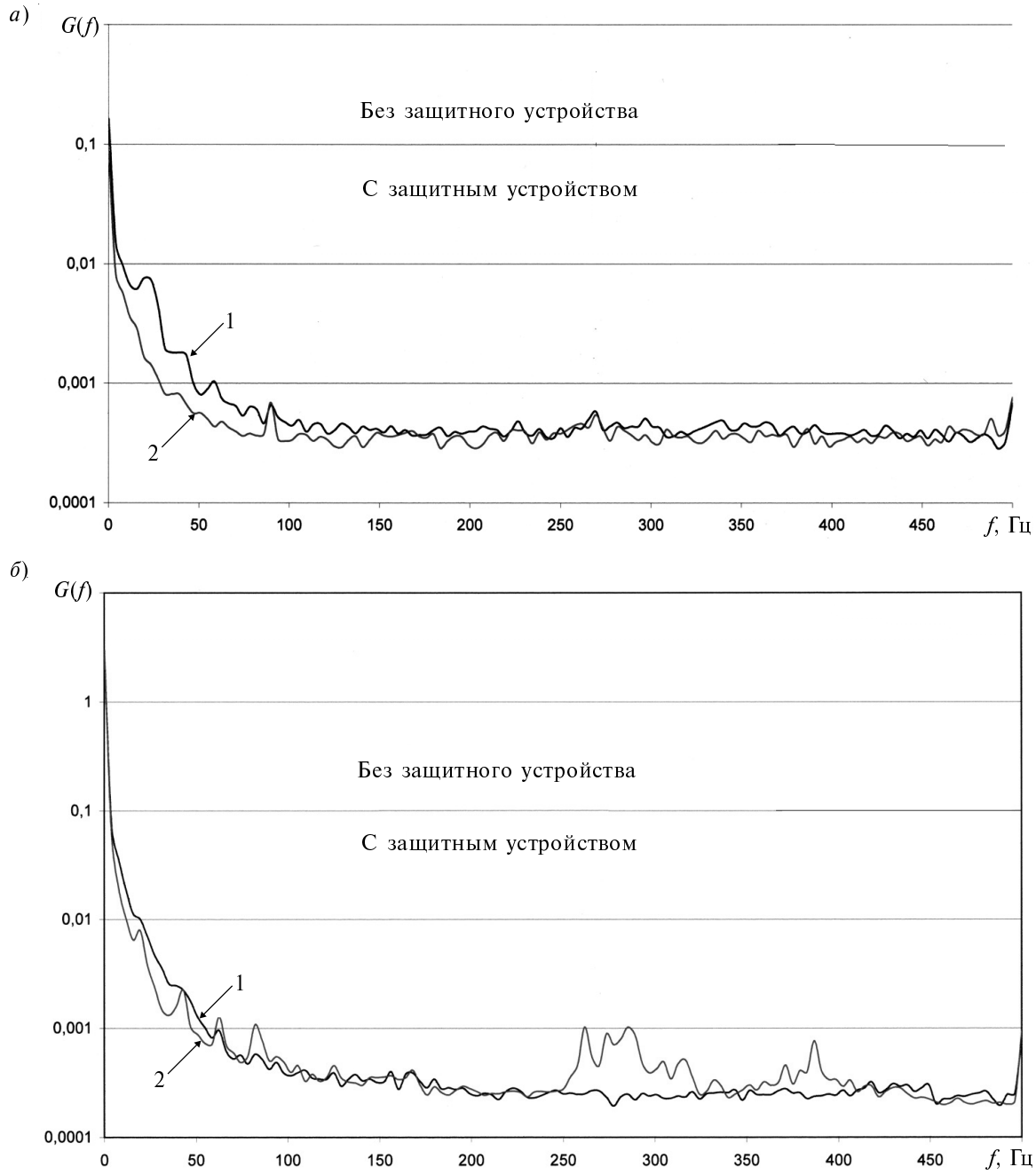


Рис. 11. Микроструктура спектральной плотности энергии $\mathbf{B}_z$ в режиме ожидания (*а*) и разговора (*б*). Среднее значение энергии $\mathbf{B}_z$ $G(f, t)$ для условий без защитного устройства (*1*) и с ним (*2*)

и структуру межклеточного взаимодействия, тем самым нарушая принципы саморегуляции биологического организма.

Как показывают эксперименты, проведенные в СПбГПУ, применение нейтрализатора электромагнитных аномалий "Айрэс" позволяет изменить как распределение низкочастотных электрических и магнитных полей по всей протяженности ТА, так и величины напряженностей этих полей, реструктурируя их, что особенно важно для ликвидации привнесенного низкочастотными акустическими колебаниями конфликта в цитоструктуру биоформы.

VT / дни	0-3	3-5	5-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	ΣK
1	1	2	3	3	3	3	3	3	21
2	2	2	3	4	4	4	4	2	25
3	3	2	3	3	4	4	4	4	27
4	2	3	3	3	3	2	2	2	20
5	1	2	2	2	2	2	2	2	15
6	1	3	3	2	2	2	1	1	15
7	0	1	1	2	2	3	2	1	12
8	1	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	1	1	2	1	1	0	6
10	0	0	1	2	2	2	2	2	11
11	2	1	4	3	5	6	4	3	28
12	4	3	2	3	3	4	3	3	25
13	3	3	3	3	3	2	3	2	22
14	1	1	3	3	2	2	2	1	15
15	2	2	3	3	3	2	3	2	20

Рис. 12. Значения *K*-индексов
Трёхчасовая характеристика цифрового вида геомагнитной обстановки СЗ региона, данные ИЗМИРАН с 1.10.08 по 15.10.08

Основные частоты мозговых колебаний, биоритмы головного мозга человека: 1,5–2, 3,7 и 4,7 Гц и т. д. по своим частотным характеристикам находятся непосредственно в зоне генерации зафиксированных В.В. Александровым с сотрудниками сопутствующих паразитных излучений ТА (от 5 до 500 Гц). Таким образом, отсутствие корреляции между естественными для мозга человека колебаниями и генерируемыми техногенным источником (в данном случае ТА) провоцирует конфликт, проявляющийся на уровне работы различных структур мозга.

Кроме рассмотренных результатов, связанных с искусственным ЭМИ, следует обращать особое внимание на естественное эволюционное поведение ГМП, аппроксимированное поведением гидромагнитного динамо.

Аппроксимация геомагнитного поля плоским геоцентрическим диполем была постулирована К. Гауссом, но современное представление о происхождении ГМП и его свойствах, изменяющихся на протяжении миллиардов лет, обосновано сравнительно недавно, оно базируется на постулировании эффекта самовозбуждения магнитных полей вследствие движения проводящей жидкости или газовой плазмы – динамо-эффекта [3].

Динамо-эффект для Земли как космического тела обусловлен несовпадением оси вращения Земли и ее магнитной оси, и его связывают с конвективным движением проводящего вещества ее жидкого ядра и со всплытием в этой среде более легких примесей под действием архимедовой силы. Конвективные движения приподнимают силовые линии тороидального поля, и при определенных условиях они могут образовывать петли, которые потом сливаются с полоидальным полем и усиливают его.

Теория динамо-эффекта приводит также к возможности самообращения магнитной оси (переполюсовке магнитного поля Земли) и долгопериодическим колебаниям ГМП (вековым вариациям), что отражает реальные свойства земного магнитного поля.

Наше мнение заостряет внимание специалистов на том, что биообъекты, адаптированные в течение миллиардов лет к таким свойствам ГМП, в современных условиях попадают в поле воздействия ЭМИ высоких частот и теряют естественные физиологические свойства как целостных организмов, так и его частей. Этим вполне объяснима угнетающая роль ЭМИ ТА при экспериментах [1, 2].

Проблемы экологической безопасности для промышленного Северо-Западного региона России требуют законодательных решений.

Авторы выражают признательность коллегам, студентам, инженерам, внесшим большой вклад в полученные результаты: В.М. Данилову, И.Н. Серову, Д.А. Уставникову, А.Я. Сергееву, Ю.М. Балагуле, Е.А. Кичигину, М.А. Тришину, Э.А. Ярошевичу, Т.В. Акинчиц, В.А. Тартыжеву, М.Ю. Александровой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров В.В.** Экологическая роль электромагнетизма. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2006. 716 с.

2. BioEM2009. Davos, Switzerland. Technical program. 2009. June 14–19. 58 p.

3. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл. 1983. С. 161.

УДК 004.942

А.В. Дьяченко, В.Г. Манжула, А.Э. Попов, С.А. Морозов

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ

Современное состояние общества таково, что персонал практически любого предприятия должен постоянно повышать свою компетентность. Таким образом, должен реализовываться принцип “образование – через всю жизнь”. Очевидно, что занятое население не всегда имеет возможность физически присутствовать в учебном центре, однако практически у всех есть средства современной связи, в том числе Интернет. Таким образом, актуально представляется задача создания распределённой образовательной системы (РОС) дополнительного профессионального образования (ДПО), базирующейся на интернет-технологиях [1].

С целью определения основных требований, условий функционирования системы, в ЮРГУЭС был проведен эксперимент по обучению студентов заочной формы обучения, проживающих вне кампуса. В качестве программно-технологической платформы выбрана система поддержки обучения через Интернет (LMS) Moodle. В эксперименте приняли участие более двухсот студентов. В дальнейшем эксперимент был расширен на систему ДПО, и в течение 2007–2009 годов в системе ДПО ЮРГУЭС с использованием Интернета прошли обучение более 600 слушателей, в том числе по программам, согласованным с ИМЦА Рособрнадзора.

Проведенный эксперимент показал, что наличие программных и технических средств не гарантирует успешной реализации проекта, более важную роль играет наличие корректной и оптимально организованной системы управления всем проектом. Особую значимость приобретает устойчивость работы системы в условиях негативных внешних воздействий, таких, как сбои в работе каналов связи, и серверного оборудования, значительные изменения законодательства, корректировка целей и задач системы в процессе работы, изменение конъюнктуры рынка и т. д.

Многолетний опыт работы в области дистанционного образования показал, что одним из оптимальных решений является разделение функций системы, как минимум – образовательных и административных. При этом в подсистемах должны быть не только независимые каналы обмена информацией с удалёнными объектами (субъектами) системы, но и несколько параллельных каналов, в том числе физически разделенных [2].

Реально, полного разнесения функций получить невозможно. Например, при работе административной системы возникает потребность в информации (как минимум, статистической), которая содержится только в образовательной части. Возникает вопрос оптимального выбора количества межсистемных “шлюзов”, режима их работы и оптимизации количества и содержания передаваемой информации. Количество “шлюзов” и содержание обмена сильно зависят от структуры обеих подсистем, потоков документов, данных, управляющих воздействий и т. п. Все указанное, в свою очередь, зависит от решаемых задач, целей системы и внешних условий. Таким образом появляется задача разработки распределённой образовательной системы, обеспечивающей бесперебойное функционирование при возникновении негативных внешних воздействий, как особой информационно-коммуникационной среды с элементами самоадаптации.

Анализ функционирования РОС целесообразно проводить на основе моделей разной степени приближения к идеализированной.

При построении моделей могут быть использованы следующие процессы и подпроцессы обучающей и административной сред [3].

Обучающая среда

1. Организация доступа к среде:

регистрация слушателя в обучающей среде;

подтверждение аккаунта слушателя, назначение роли и прав доступа.

2. Обучение:

получение учебной информации (чтение учебников, пособий и т. д.);

самоконтроль;

запрос информации (вопросы в off-line, интерактивное общение и т. п.);

выполнение деятельностных элементов (виртуальные практикумы, тренажеры, wiki и т. д.).

3. Контроль (аттестация):

промежуточное тестирование;

итоговое тестирование;

письменная работа или открытый тест.

Административная среда

1. Маркетинговые исследования:

изучение рынка труда и образовательных услуг;

разработка рекомендаций по номенклатуре, содержанию и стоимости учебных программ.

2. Проектирование учебной программы:

разработка учебного плана;

разработка учебно-методического обеспечения;

разработка контрольно-измерительных материалов;

разработка программно-технических средств;

размещение готовой программы в информационной среде.

3. Реализация учебной программы:

обеспечение функционирования информационно-технических средств реализации учебной программы;

контроль соблюдения условий обучения (оплата, право доступа к уровню и т. д., наличие всех необходимых документов), разрешение доступа к среде;

формирование графика обучения;

обеспечение ответов на запросы слушателей;

контроль прохождения этапов обучения (в том числе, например, модулей учебной программы, промежуточной и итоговой аттестации).

4. Документооборот:

приём документов слушателя;

регистрация слушателя в БД административной среды, формирование личного дела (карточки);

отражение в документации этапов прохождения учебной программы;

формирование статистической отчётности для вышестоящих организаций;

формирование планов работ, сбор отчётности об их выполнении.

5. Выдача документа об образовании:

обеспечение бланками документов об образовании;

формирование аттестационных (экзаменационных) комиссий;

контроль проведения итоговой аттестации;

заполнение бланка и выдача документа.

6. Управление ресурсами:

приём оплаты за обучение;

финансирование разработки учебной программы;

оплата функционирования информационно-технических средств (трафик, связь, аренда оборудования и т. д.);

обеспечение материально-технического снабжения;

кадровое обеспечение;

бухгалтерское обеспечение;

информационное обеспечение (литература, программы, компакт-диски и др.).

Следует отметить, что приведённый перечень процессов и подпроцессов не является исчерпывающим, в то же время он достаточен для иллюстрации рассматриваемых положений.

Модели могут представляться в виде структурных и функциональных схем, с детализацией, как правило, в нотациях IDEF0 и IDEF3, однако могут быть использованы специфические объекты и функции, введенные дополнительно.

Примерами таких моделей могут служить процессы обучения с точки зрения преподавателя и с точки зрения студента.

Можно выделить несколько видов структуры обобщенной модели РОС.

Первый предельный случай – использование двух полностью независимых подсистем – обучающей и административной.

Обучающая подсистема полностью автоматизирована и не требует управляющих воздействий в процессе обучения. Такой подход возможен, например, в режиме экстерната, самообразования и т. п. Фактически в этом случае организация процесса обучения возложена на программно-технические средства и самого пользователя, который просто следует по заранее установлен-

ной траектории обучения. Важное замечание: при таком подходе не может быть выдан документ об образовании государственного образца, так как для этого необходимы действия обучаемого не только в среде обучения, но и в среде управления – итоговая аттестация, официальное оформление документов и т. п.

Другой предельный случай – максимальная интеграция административных и обучающих сред. Контроль процесса осуществляется путем формирования отчётности на каждом этапе, отсутствие отчёта влечет запрет перехода к следующему этапу. Недостаток такого подхода – крайне высокая заорганизованность процессов обучения, высокая чувствительность к изменениям законодательства, кратковременным сбоям в системе (из-за наличия жесткого графика сбой практически недопустим), невозможность быстрого реагирования на изменение конъюнктуры. Де-факто эта модель чисто теоретическая, так как функционировать в реальных условиях не может.

Таким образом, наиболее эффективны системы с промежуточным уровнем интеграции, сочетающие несколько технологий управления и обучения, включённых в распределенную и диверсифицированную информационную среду. Комбинация технологий позволяет снизить влияние ряда факторов, отрицательно влияющих на результативность распределенной образовательной системы. В частности, наличие заранее созданных альтернативных траекторий обучения позволяет оперативно реагировать на изменения законодательства, конъюнктуры и т. п. Опыт показал, что наиболее устойчивы структуры, имеющие не менее трех параллельных каналов обмена информацией между субъектами и объектами образовательного процесса. Кажущаяся избыточность не играет заметной роли, так как в каждый момент функционирует ограниченный набор узлов и связей модели.

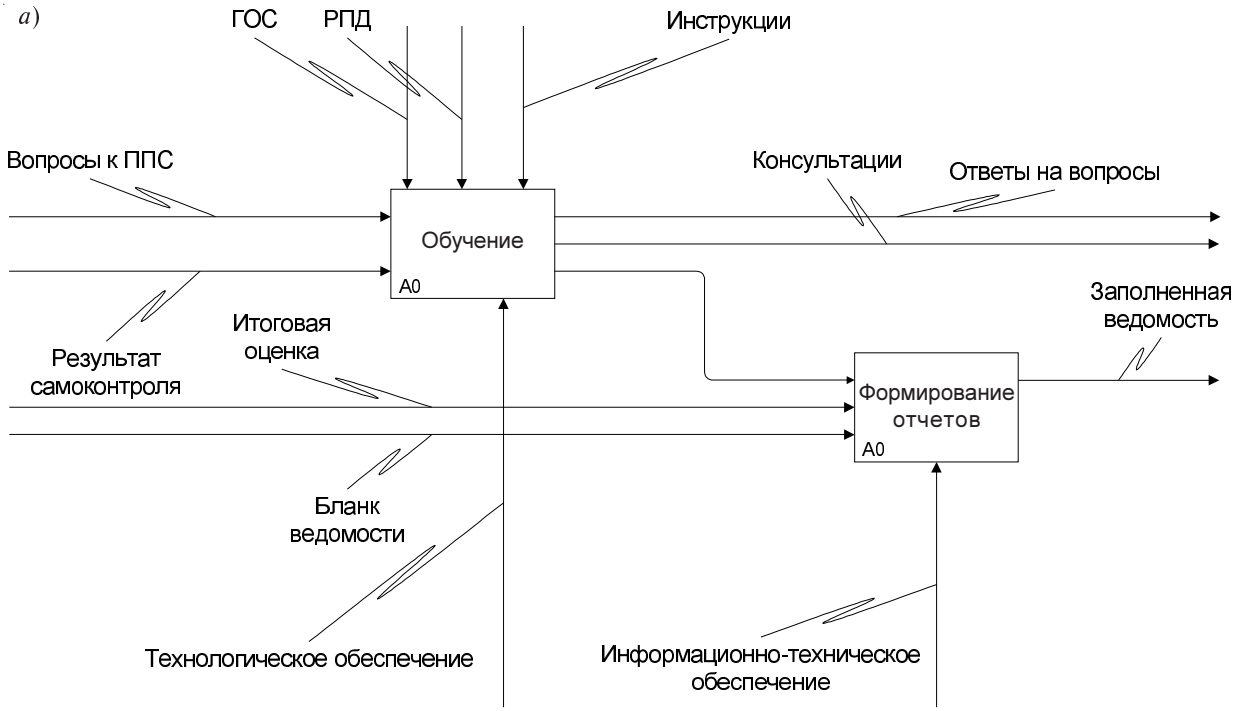
В настоящее время предстоит решить задачу оптимизации структуры РОС с точки зрения её экономической эффективности при условии сохранения качества обучения, а также реализовать функции самонастраивания системы при изменении внешних факторов.

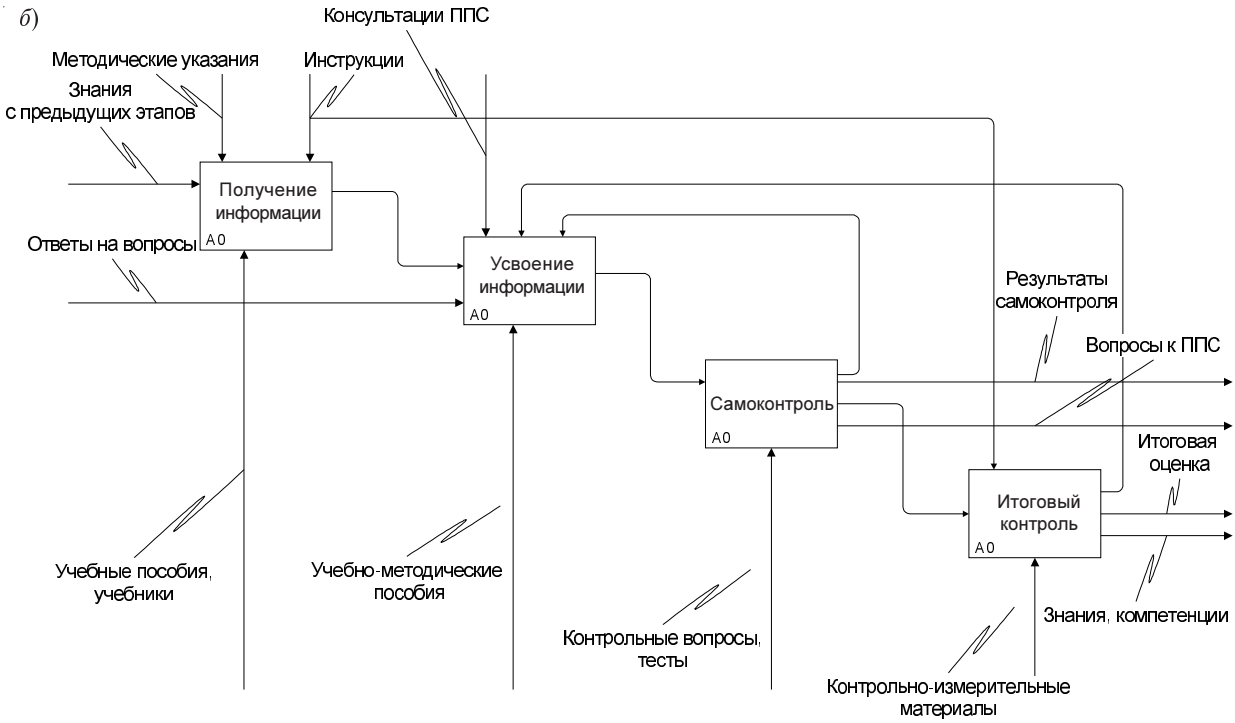
Решить указанные задачи можно путём разработки детализированных сетевых моделей РОС, учитывающих внешние воздействия непосредственно на процессы управления и обучения, построение на основе этих моделей обобщенных функциональных схем РОС, определение максимально достоверных критериев структурной оптимизации и наборов правил взаимодействия узлов сети РОС, обеспечивающих полную или частичную самоадаптацию всей системы.

Необходимо отметить, что важнейшим фактором является система поддержки обучения через Интернет. Как указывалось выше, в качестве платформы для построения РОС выбрана LMS Moodle и это не случайно: Moodle очень удобна для решения задачи организации дистанционного обучения. Среди ее достоинств кросс платформенность, русифицированный дружественный интерфейс, обширная справочная система, богатый набор форм и методов подачи материала. Moodle ориентирована на эффективные коллаборативные технологии обучения - позволяет организовать обучение в процессе совместного решения учебных задач, осуществлять взаимообмен знаниями, реализует среду обучения, в которой студенты могут взаимодействовать с учебными материалами, с преподавателями и друг с другом [4].

В Moodle не предусмотрена полноценная работа с академическими группами так, как их понимают в отечественных учебных заведениях, не предусмотрены также учебный план, расписание, сводные ведомости отметок по различным дисциплинам (курсам) и другие неотъемлемые атрибуты учебного процесса. Поэтому организации, начинающие внедрение Moodle, сталкиваются с вышеописанными проблемами.

Для устранения указанных проблем предлагается система “Электронный деканат” (Free Dean’s Office), которая разрабатывается сообществом российских программистов как открытый проект под лицензией GNU GPL. В разработке принимает участие официальный партнер Moodle в России компания “Открытые технологии” (http://www.opentechnology.ru/) при участии таких вузов, как ЮРГУЭС, Сибирская автодорожная академия и др., а также ЦО “Технологии обучения”. Первоочередной задачей проекта “Электронный деканат” (далее ЭД) является адаптация СДО Moodle к особенностям организации учебного процесса в отечественных учебных заведениях, а в перспективе – разработка гибкой системы автоматизации бизнес-процессов в вузах. Система разрабатывается как модуль СДО





Процесс обучения: *а* – преподаватель; *б* – студент

Moodle и сама имеет развитую модульную архитектуру, позволяющую адаптировать её под потребности каждой организации без модификации кода базовой системы.

Подробную информацию о разработке можно найти в Интернете по адресам: http://sourceforge.net/projects/freedeansoffice/ и http://www.infoco.ru/course/view.php?id=19.

Решить задачи разработки и развития ЭД невозможно без диалога между разработчиками и представителями вузов – педагогами, администрацией, бухгалтерией и др. Большое внимание уделяется мониторингу мнений будущих пользователей о том, что и как они хотят делать в ЭД, их пожеланиям к интерфейсу ЭД. Для этого на сайте http://infoco.ru/ открыт соответствующий раздел, в котором обсуждаются структура и возможности ЭД, модель бизнес-процессов, протекающих в учебных заведениях, и её реализация в ЭД. Там же открыто несколько wiki-пространств, в которых редактируются форматы типовых бланков отчётной документации для средней и высшей школы.

Исходный код ЭД доступен в разделе проекта http://www.sourceforge.net/. Там же находятся формы для оповещения разработчиков об ошибке, отправки пожеланий или фрагментов кода.

Важно, что связка Moodle + ЭД полезна не только учебным заведениям, реализующим программы заочной формы обучения, но и для автоматизации управления учебным процессам дневной и вечерней форм. Прежде всего это вузы, но не только: модульная архитектура и открытость исходного кода дают возможность адаптации под нужды любых организаций, например при построении корпоративных систем повышения квалификации. Важное преимущество ЭД заключается в том, что он разрабатывается российским сообществом программистов. Это даёт быструю обратную связь и возможность заказать разработку нужных заказчику возможностей системы. Система динамично развивается благодаря новым клиентам, каждый из которых, заказывая разработку недостающих ему возможностей, вносит вклад в расширение функций и возможностей системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дьяченко А.В.** Преимущества СПО для образовательных организаций // Информационные технологии в науке и образовании: Матер. Междунар. науч.-практ. интернет-конференции. Октябрь 2009 – март 2009; Применение MOODLE в сетевом обучении: III Всерос. семинар. Шахты: Изд-во ЮРГУЭС. 2009. С. 62, 63.

2. **Дьяченко А.В.** Универсальная схема данных для системы автоматизации управления учебным процессом для проекта FREE DEANS OFFICE (электронный деканат) // Информационные технологии в науке и образовании: Матер. Междунар. науч-практ. интернет-конференции. Октябрь 2009 – март 2009; Применение MOODLE в сетевом обучении: III Всерос. семинар. Шахты. Изд-во ЮРГУЭС. 2009. С. 63, 64.

3. **Попов А.Э., Дьяченко А.В., Мяэтос В.К.** Модели построения распределенных систем непрерывного образования на основе интернет-технологий // Высшее образование в России. 2009. № 3. С. 61–68.

4. **Горбунова Е.И., Кревский И.Г., Литвиненко М.В.** Организация дистанционного обучения в вузе: теория и практика. Шахты: Изд-во ЮРГУЭС. 2007. 324 с.

УДК 519.866

П.Н. Победаш

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫМИ ИНВЕСТИЦИЯМИ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО ПОДХОДА

При многокритериальной оценке привлекательности инвестиционного проекта (ИП) на этапе предынвестиционного (предварительного) анализа в большинстве случаев лицам, принимающим решение (ЛПР), достаточно классифицировать его как заведомо неприемлемый

либо приемлемый с последующей более детальной проработкой. Такая предварительная сортировка проектов, как правило, приблизительна и требует значительно меньше времени и вычислительных ресурсов. Тогда оправдан подход, основанный на получении гарантированного результата и сводящийся, в частности, к получению оценки сверху или снизу для интересующего ЛПР показателя, например свертки критериев качества реализации проекта.

В данной статье предлагается обобщение операционного подхода, изложенного в монографии [1], к анализу линейных многошаговых задач оптимального управления с фиксированным конечным состоянием на конечном горизонте планирования. Рассмотрим его на примере следующей задачи экономической динамики. Предприятие имеет собственный начальный капитал и планирует производить продукцию нескольких видов, объём продаж которой не превышает спроса на неё. При этом известны технико-экономические характеристики основных производственных фондов (ОПФ), участвующих в производстве, – стоимость, срок службы, а также производительность единицы ОПФ и стоимость единицы производимой продукции каждого вида. Требуется определить суммы инвестиций, выделяемые инвестором (налоговым центром – НЦ) и предприятием на реализацию рассматриваемого проекта в целом и по каждому виду ОПФ в отдельности, при которых их суммарные дисконтированные денежные потоки, порождаемые данным ИП за определенный период, максимальны. Будем понимать оптимальность в смысле Парето. Если, кроме того, требуется, чтобы по истечении срока действия ИП состояние всей системы предприятие – НЦ (вектора состояний ее экономических агентов) совпадало с заданным, то такую модификацию задачи будем называть задачей с фиксированным конечным состоянием (КС). Последнюю версию задачи можно трактовать как задачу оптимального планирования реальных инвестиций для определения порядка суммарной стоимости всех приобретенных ОПФ каждого вида, их суммарной остаточной стоимости, суммы собственных денежных средств и накопленных инвестиций на момент завершения проекта.

Полагаем, что выполнены следующие основные предпосылки: 1) учитываются налоги, составляющие большую часть затрат предприятия (налог на добавленную стоимость (НДС), налог на прибыль (НП), налог на имущество (НИ), единый социальный налог (ЕСН) и отчисления в фонд оплаты труда (ФОТ)); 2) предприятие имеет достаточные запасы сырья; 3) срок T действия ИП меньше сроков T_k службы единицы ОПФ каждого типа, т. е. $T < T_k$ $(k = 1, ..., n)$; 4) на ОПФ каждого вида производится лишь один тип продукции.

С учётом приведенных предпосылок сформулированная выше задача со свободным КС имеет вид многокритериальной многошаговой задачи линейного программирования (ММЗЛП). Согласно [1] назовём её моделью А:

$$x_k(t+1) = x_k(t) + u_k(t)(k = 1, ..., n;\ t = 0, ..., T-1),$$

$$x_{n+1}(t+1) = x_{n+1}(t) + \sum_{k=1}^{n} u_k(t)\ (t = 0,...,T^2-1),$$

$$x_{n+1}(t+1) = -\sum_{k=1}^{n} x_k(t)/T_k + x_{n+1}(t) +$$

$$+\sum_{k=1}^{n} u_k(t)\ \ (t = T^2,...,T-1),$$

$$x_{n+2}(t+1) = -\alpha_2 x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) -$$

$$-\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + u_{2n+1}(t) + u_{2n+2}(t)\ (t = 0),$$

$$x_{n+2}(t+1) = -\alpha_2 x_{n+1}(t) +$$

$$+x_{n+2}(t) - \sum_{k=1}^{n} u_k(t) + u_{2n+1}(t)\ (t = 1,...,T^2-1),$$

$$x_{n+2}(t+1) = \alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \theta x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) -$$

$$-\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + \gamma \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) + u_{2n+1}(t)$$

$$(t = T^2,...,T^1-1),$$

$$x_{n+2}(t+1) = \alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \theta x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) - \\ -\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + \gamma \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) \quad (t = T^1, ..., T-1); \tag{1}$$

$$x_{n+3}(t+1) = x_{n+3}(t) + u_{2n+1}(t) \ (t = 0, ..., T^1 - 1),$$

$$x_{n+3}(t+1) = x_{n+3}(t) \ (t = T^1, ..., T-1);$$

$$x_k(0) = 0 (k = 1, ..., n+3);$$

$$x_{n+2}(t) \geq 0 \ (t = 1, ..., T);$$

$$-\sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \alpha_2 x_{n+1}(t) + (1-\beta) \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) \geq 0$$
$$(t = T^2, ..., T-1);$$

$$0 \leq u_{n+k}(t) \leq q_k(t+1),$$

$$u_{n+k}(t) \leq \delta_k x_k(t) \ (k = 1, ..., n; t = T^2, ..., T-1),$$

$$x_{n+3}(T^1) \leq I_0,$$

$$u_{2n+2}(0) \leq K_0 u_k(t) \geq 0 \ (k = 1, ..., n; t = 0, ..., T-1),$$

$$u_{2n+1}(t) \geq 0 \ (t = 0, ..., T^1 - 1), \ u_{2n+2}(0) \geq 0;$$

$$J = \{J_1, J_2\} \to \max, \tag{2}$$

где

$$J_1 = -\sum_{t=0}^{T^1-1} \frac{u_{2n+1}(t)}{(1+r)^t} - u_{2n+2}(0) + \\ + \sum_{t=T^2}^{T-1} \frac{\left[\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \theta x_{n+1}(t) + \gamma \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t} + \\ + \frac{\delta x_{n+1}(T)}{(1+r)^{T-1}}$$

и

$$J_2 = \sum_{t=T^2}^{T-1} \frac{\left[-\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} + \theta x_{n+1}(t) + \rho \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t}$$

– соответственно дисконтированные суммы собственных средств производственного предприятия и НЦ. Здесь $u_k(t)$ $(t = 0, ..., T-1)$, $u_{n+k}(t)$ $(k = 1, ..., n; t = T^2, ..., T-1)$, $u_{2n+1}(t)$ $(t = 0, ..., T^1 - 1)$ и $u_{2n+2}(0)$ – стоимость приобретаемых ОПФ, выручка от реализации продукции k-го типа, внешние и внутренние инвестиции соответственно; $x_k(t), x_{n+1}(t), x_{n+2}(t)\, x_{n+3}(t)$ $(k = 1, ..., n; t = 0, ..., T)$ – накопленная стоимость всех ОПФ k-го типа, остаточная стоимость всех ОПФ, текущие денежные средства предприятия и накопленные суммы внешних инвестиций в момент t; $q_k(t+1)$ $(t = T^2, ..., T-1)$, V_k, T_k, c_k и P_k – прогнозный спрос в стоимостном выражении для момента $t+1$, производительность, срок службы, стоимость единицы ОПФ и стоимость единицы продукции k-го типа соответственно $(k = 1, ..., n)$; I_0, K_0 – суммы внешних и внутренних инвестиций, выделяемых на весь срок действия ИП; α_1, α_2, α_3, α_4 – ставки НДС, НИ, НП и ЕСН (НДС включается в цену продукции, поэтому можно считать, что $\alpha_1 = 0$); β – доля выручки от реализации, выделяемая на ФОТ; T^1, T^2, T $(1 \leq T^2 \leq T^1 < T)$ – моменты завершения внешнего инвестирования, начала производства и срок действия ИП; $\theta = (1-\alpha_3)\alpha_2$, $\delta_k = P_k V_k / c_k$ $(k = 1, ..., n)$, $\gamma = (1-\alpha_3) \times (1-\beta)$, $\rho = (1-\beta)\alpha_3 + \alpha_4\beta$; r – ставка доходности ИП; δ $(0 \leq \delta \leq 1)$ – доля остаточной стоимости всех ОПФ на момент $t = T$ от её балансовой стоимости, определяемая в общем случае экспертно.

Задачу, отличающуюся от модели А дополнительным условием $x_k(T) = x_k^T$ $(k = 1, ..., n+3)$, где $x_k^T = const$ – известные терминальные значения соответствующих фазовых переменных, назовём моделью А′. Не нарушая общности, можно полагать, что $T^2 = 1$ [1] и

$$x_k(T) = 0 \ (k = 1, ..., n+3), \tag{3}$$

так как иначе заменой $\bar{x}_k(t) = x_k(t)$ $(t = 0, ..., T-1)$; $\bar{x}_k(T) = x_k(T) - x_k^T$ $(k = 1, ..., n+3)$ для переменных $x_k(t)$ можно добиться выполнения условия (3).

Согласно [2] ММЗЛП (1), (2) равносильна однокритериальной задаче, в которой векторный целевой критерий (2) заменен на скалярный:

$$J(\mu) = \mu_1 J_1 + \mu_2 J_2,$$

где $\mu \in M = \{(\mu_1; \mu_2) \in E^2 \mid \mu_i > 0; \mu_1 + \mu_2 = 1\}$ – вектор параметров; E^2 – двумерное евклидово пространство.

Учитывая, что $\mu_2 = 1 - \mu_1$ и полагая $\mu \overset{def}{=} \mu_1$, указанную ММЗЛП можно свести к задаче (1) при условии

$$J(\mu) = \mu J_1 + (1-\mu)J_2 \to \max\ (\mu \in (0;\ 1)). \quad (4)$$

Применим к задаче A′ при $z = 1 + r$ оператор

$$Z_T(x(t)) \overset{def}{=} X(z,T) = \sum_{t=0}^{T-1} x(t)z^{-t}\ (T \in \{1,\ 2,\ \ldots,\};$$

$z \neq 0$), являющийся аналогом Z-преобразования для конечного T. Учитывая свойство $Z_T(x(t+1)) = z[X(z,\ T) + x(T)z^{-T} - x(0)]$, условия (3), (4) и то, что из 5-го неравенства (1) следует $\sum_{t=0}^{T^1-1} u_{2n+1}(t)z^{-t} \le I_0$ в силу формулы $x_{n+3}(T^1) = \sum_{t=0}^{T^1-1} u_{2n+1}(t)$, получаем статическую задачу линейного программирования (ЗЛП), зависящую от параметров μ, z:

$$zX_k = X_k + U_k\ (k = 1,\ \ldots,\ n),$$

$$zX_{n+1} = -\sum_{k=1}^{n} \frac{X_k}{T_k} + X_{n+1} + \sum_{k=1}^{n} U_k,$$

$$zX_{n+2} = \alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{X_k}{T_k} - \theta X_{n+1} + X_{n+2} -$$

$$-\sum_{k=1}^{n} U_k + \gamma \sum_{k=1}^{n} U_{n+k} + U_{2n+1} + u_{2n+2}(0),$$

$$zX_{n+3} = X_{n+3} + U_{2n+1};$$

$$zX_{n+2}(z) \ge 0,$$

$$-\sum_{k=1}^{n} \frac{X_k}{T_k} - \alpha_2 X_{n+1} + (1-\beta)\sum_{k=1}^{n} U_{n+k} \ge 0,$$

$$U_{n+k} \le Q_k,\ U_{n+k} \le \delta_k X_k\ (k = 1,\ \ldots,\ n), \quad (5)$$

$$U_{2n+1} \le I_0,\ u_{2n+2}(0) \le K_0,\ U_k(z) \ge 0\ (k = 1,\ \ldots,\ 2n+1);$$

$$u_{2n+2}(0) \ge 0;$$

$$\bar{J}'(\mu) = \mu \bar{J}_1' + (1-\mu)\bar{J}_2' \to \max\ (\mu \in (0;1)),$$

где

$$\bar{J}_1' = -U_{2n+1} - u_{2n+2}(0) +$$

$$+\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{X_k}{T_k} - \theta X_{n+1} + \gamma \sum_{k=1}^{n} U_{n+k},$$

$$\bar{J}_2' = -\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{X_k}{T_k} + \theta X_{n+1} + \rho \sum_{k=1}^{n} U_{n+k},$$

$$U_j(z,T) = \sum_{t=0}^{T-1} u_j(t)z^{-t}, U_{n+j}(z,T) =$$

$$= \sum_{t=1}^{T-1} u_j(t)z^{-t}\ (j = 1,\ldots,n);$$

$$U_{2n+1}(z,T^1) = \sum_{t=0}^{T^1-1} u_{2n+1}(t)z^{-t};$$

$$X_k(z,T) = \sum_{t=0}^{T-1} x_k(t)z^{-t}\ (k = 1,\ldots,n+3)$$

– Z_T-изображения соответствующих динамических переменных; z, T, T_1 опущены для краткости, а суммирование производится по тем t, для которых эти переменные определены; $Q_k(z,T) = \sum_{t=0}^{T-1} q_k(t)z^{-t}\ (k = 1,\ldots,n+3)$.

В силу (4) ЗЛП (5) равносильна двухкритериальной задаче с ограничениями (5) и условием $\bar{J}' = \{\bar{J}_1', \bar{J}_2'\} \to \max$, которую назовем моделью Z_T A′. Выражая из равенств (5), получаем ЗЛП, равносильную Z_TA′:

$$U_{n+k} \le Q_k,\ U_{n+k} \le \delta_k U_k / r\ (k = 1,\ \ldots,\ n),$$

$$-\sum_{k=1}^{n} \bar{\alpha}_k U_k - r[\gamma \sum_{k=1}^{n} U_{n+k} + U_{2n+1} + u_{2n+1}(0)] \le 0,$$

$$\sum_{k=1}^{n} \bar{\beta}_k U_k - \gamma r \sum_{k=1}^{n} U_{n+k} \le 0,\ U_{2n+1} \le I_0,\ u_{2n+2}(0) \le$$

$$\le K_0,\ U_k(z) \ge 0\ (k = 1,\ \ldots,\ 2n+1);\ U_{2n+2}(0) \ge 0, \quad (6)$$

$$\bar{J}'(\mu) = -\frac{(1-2\mu)}{r^2} \sum_{k=1}^{n} \bar{\gamma}_k U_k + [\mu\gamma + (1-\mu)\rho] \times$$

$$\times \sum_{k=1}^{n} U_{n+k} - \mu[U_{2n+1} + u_{2n+2}(0)] \to \max\ (\mu \in (0;1)),$$

где $\bar{\alpha}_k = \frac{\alpha_3}{T_k} + \theta\left(\frac{1}{rT_k} - 1\right) - r;\ \bar{\beta}_k = \left[\alpha_2 + \frac{1}{T_k}\right] r - \frac{\alpha_2}{T_k};$

$\bar{\gamma}_k = [\alpha_3 / T_k - \theta]r + \theta / T_k\ (k = 1,\ldots,n)$.

Обозначим далее * оптимальные значения сверток критериев. Поскольку набор значений $U_k = 0$ ($k = 1, ..., 2n + 1$); $u_{2n+2}(0) = 0$ допустим в ЗЛП (6), то по теореме Вейерштрасса нетрудно доказать теорему.

Теорема 1. В задачах A′ и (6) для $T < +\infty$ существует решение, причем

$$J'^{*}(\mu) \le \overline{J}'^{*}(\mu) \ (\mu \in (0;1)), \qquad (7)$$

где $J'^{*}(\mu), \overline{J}'^{*}(\mu)$ – оптимальные значения сверток критериев в этих задачах.

Анализируя задачу (6) и учитывая (7), получаем еще одну теорему.

Теорема 2. В задаче A′ имеет место неравенство

$$J'^{*}(\mu) \le \Gamma'_{T}(\mu) \ (\mu \in (0;\ 1)), \qquad (8)$$

где

$$\Gamma'_{T}(\mu) = \begin{cases} \left[\mu\gamma + (1-\mu)\rho + \dfrac{(2\mu-1)\gamma}{r}\sum\limits_{\overline{\gamma}_j<0}\dfrac{\overline{\gamma}_j}{\overline{\beta}_j}\right]\sum\limits_{k=1}^{n} Q_k \\ (\mu \in (0;1/2)) \\ [\mu\gamma + (1-\mu)\rho]\sum\limits_{k=1}^{n} Q_k \ (\mu = 1/2) \\ \left[\mu\gamma + (1-\mu)\rho + \dfrac{(2\mu-1)\gamma}{r}\sum\limits_{\overline{\gamma}_j>0}\dfrac{\overline{\gamma}_j}{\overline{\beta}_j}\right]\sum\limits_{k=1}^{n} Q_k \\ (\mu \in (1/2;1)) \end{cases}. \qquad (9)$$

Для задач A и A′ имеют место теоремы 3 и 4.

Теорема 3. Оптимальные значения сверток $J^{*}(\mu)$, $J^{*}(\mu)$ в проектах, описываемых моделями A и A′, есть неубывающие функции от параметра T при неизменных значениях остальных параметров и $\mu \in [0;\ 1]$.

Теорема 4. В задаче A при $T \to +\infty$ имеет место неравенство

$$J^{*}(\mu) \le \Gamma(\mu, z) \ (\mu \in (0;\ 1)), \qquad (10)$$

где

$$\Gamma(\mu, z) = \begin{cases} (1-\mu)(\gamma+\rho)\sum\limits_{k=1}^{n} Q_k(z) \left(\mu \in \left(0;1/2\right]\right) \\ [\mu\gamma + (1-\mu)\rho]\sum\limits_{k=1}^{n} Q_k(z) \left(\mu \in \left(1/2;1\right)\right) \end{cases}, \qquad (11)$$

$Q_k(z) = \sum\limits_{t=1}^{\infty} q_k(t+1)z^{-t}$ $(k = 1, ..., n)$. В силу теоремы 3 неравенство (10) справедливо и для конечного T. Отметим, что формула (11) в отличие от (9) получена в работе [1] с помощью Z-преобразования лишь при $T \to +\infty$.

Найдем условия, когда в задаче A существует решение при $T \to +\infty$, т. е. последовательность $\{x_k(t)\}$ $(k = 1, ..., n+3; t = 0, 1, ...)$ ограничена и z-изображения

$$X_k(z) \overset{def}{=} \lim_{T\to+\infty} X_k(z,T) = \sum_{t=0}^{\infty} x_k(t)z^{-t} \ (k = 1, ..., n+3)$$

являются сходящимися рядами при $z > 1$, а значит, по необходимому признаку сходимости $\lim\limits_{T\to+\infty} x_k(T)z^{-T} = 0$ $(k = 1, ..., n+3)$ независимо от терминального состояния в оптимуме, в частности *нулевого*. В этом случае указанная задача равносильна A′ и поэтому

$$\lim_{T\to+\infty} J(\mu) \overset{def}{=} \lim_{T\to+\infty} J'(\mu);$$

$$\lim_{T\to+\infty} \Gamma'_{T}(\mu) = \Gamma'(\mu, z) = \Gamma(\mu, z) \ (\mu \in (0;1)). \qquad (12)$$

Поскольку при $T \to +\infty$ $\overline{\beta}_k \to \theta > 0$, $\overline{\gamma}_k \to -\theta r < 0$, то из формулы (9) следует (11), т. е. вновь получим теорему 4. При этом вывод оценки (11) на основе оператора Z_T существенно проще, чем в [1], а формулы (9) применимы для конечного T и без теоремы 3. Кроме того, поскольку нулевое управление в ММЗЛП A′ допустимое и при $Q_k(z) < \infty$ $(k = 1, ..., n)$ функция $J(\mu)$ ограничена сверху по условию (8), то в силу (12) доказана теорема из монографии [1].

Теорема 5. Если $\overline{q}_k = \max\limits_{t=1,...} q_k(t+1) < +\infty$ $(k = 1, ..., n); r > 0; T^2 = 1$, то задача A (или A′) имеет решение при $T \to +\infty$.

Из неравенства (8) и теоремы 3 следует справедливость теоремы 5 и на конечном горизонте планирования.

Таким образом, предложенный операционный подход – это эффективный инструмент анализа задач экономической динамики, описываемых моделями в классе ММЗЛП, который позволяет оценивать фронт Парето-множеств (а значит, и инвестиционную привлекательность реализуемых по этим моделям ИП с учётом интересов нескольких лиц), а также доказывать теоремы существования решения в указанных задачах.

Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП “Развитие научного потенциала высшей школы” (НИР 2.1.1/2710).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Медведев А.В.** Применение z-преобразования к исследованию многокритериальных линейных моделей регионального экономического развития: Монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск. 2008. 228 с.

2. **Подиновский В.В., Ногин В.Д.** Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука. 1982. 256 с.

Вычислительные машины и программное обеспечение

УДК 004.421.2:621.391

С.В. Иванов

РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Научные исследования в области теории игр и статистических решений в информационно-измерительных и телекоммуникационных системах можно проводить на примере игры в шахматы и шашки. С точки зрения науки эта игра представляет собой передвижение элементов в массиве 8×8. Исследование шахматной игры на примере массива 10×10 или 8×8 позволяет наглядно раскрыть и показать возможности передвижения элементов этих массивов. Современная история компьютерных шахмат началась с работ К. Шеннона и А. Тьюринга [5–7]. Плодотворные исследования в этой области продолжил М.М. Ботвинник [1]. На основе этих научных изысканий были составлены программы для обработки массивов 8×8 и 10×10 посредством игры в них. Благодаря росту компьютерных технологий разработка таких программ необычайно популярна за рубежом [5]. С 1990 года начали разрабатывать шахматный Интернет-сервер Internet Chess Server, с его помощью можно осуществлять телекоммуникационную связь [8, 9].

Основное достоинство шахматной или шашечной игры заключается в том, что посредством движения фигур можно смоделировать сложные передвижения на шахматной или шашечной доске. Эту доску с фигурами можно представить массивом с элементами. В таком случае шахматная и шашечная игра, говоря на математическом языке, представляет моделирование передвижения элементов массива, где последние принимают значения в зависимости от положения фигур. Развитие информационно-измерительных систем в локальной сети и Internet позволило осуществлять передачу данных массивов на заданное расстояние.

Исследования в области информационных технологий подразумевают развитие вычислительных систем, функционирующих в режиме реального времени, таких, как автономные работы, бортовые авиационные системы и др. Это связано с расширяющимся использованием моделей и методов искусственного интеллекта, которые можно реализовывать для игры в шахматы и шашки [3, 5]. Большое распространение получает программное обеспечение Microsoft благодаря большой совместимости с другим программным и аппаратным обеспечением. В СПбГЭТУ провели исследования разработки и применения алгоритмов в области теории игр и статистических решений, а также информационно-измерительных систем [4]. Алгоритмы программного обеспечения нашли хорошее применение для регистрации времени и создания двумерного массива в процессе психофизиологического тестирования [10]. Интерфейс этой программы для психофизиологического тестирования представлен на рис. 1.

С помощью этих алгоритмов было создано программное обеспечение для моделирования передвижения элементов массива в локальной сети и Internet [2]. Эта программа позволяет играть в стоклеточные шашки в локальной сети и Internet с помощью протокола TCP/IP.

Вышли приказы Министерства образования Российской Федерации от 18.05.2004 № 2211 (о развитии шахматного образования в системе образования Российской Федерации Министерства образования), а также – в связи с развитием новых компьютерных технологий – приказы Министерства образования Российской Федерации от 04.04.2002 № 1220 и от 01.09.2003 № 3436

Рис. 1. Интерфейс программы

("...проведение чемпионата России по шахматам по интернету... с целью развития интеллектуального мышления, телекоммуникационных и информационных технологий, а также для установки дружественных отношений между вузами..."). Выполнение этих приказов Минобразования подразумевает организацию спортивных мероприятий по участию университетов в internet-первенстве России по шахматам в режиме online. В этих соревнованиях для операционной системы Windows используется программа Winboard или Client, а для операционной системы Linux – программа Xboard. Более совершенные информационные и телекоммуникационные технологии были продемонстрированы на телекоммуникационной встрече Санкт-Петербург – Париж, посвященной 300-летию Санкт-Петербурга. В соревнованиях использовалось изобретение, запатентованное фирмой "Шахком" Б.Л. Ешана. На этой встрече и на соревнованиях 23 ноября 2004 года СПбГУ – Российский государственный социальный университет (Москва) средняя скорость передачи ходов, на которой осуществлялась игра, составила 64 кБит/с, а видеоизображение передавалось со скоростью 700 кБит/с. На 1-м Международном internet-турнире "Мемориал Петросяна" 18–23 декабря 2004 года средняя скорость, на которой осуществлялась игра, была равна 256 кБит/с. На internet-первенстве России по шахматам средняя скорость игры оказалась равной 56 кБит/с. Реализация этих алгоритмов в виде программы позволяет передвигать элементы массива в локальной сети и Internet со скоростью 56 кБит/с и выше.

Одним из самых подробно разработанных способов в теории игр является конечная парная игра с нулевой суммой (антагонистическая игра двух лиц или двух коалиций). Однако практически (на примере игры в шахматы или шашки) эту теорию до сих пор не удалось полностью реализовать. При использовании этой теории в алгоритмах очень важно учитывать правильный выбор хода и полухода, а также установление параметров передвижения элементов массива.

Пример реализации параметров в шашках хода дамки на расстояние (удаление на пути дамки других шашек), а также проверки всего расстояния от (x1, y1) до (x2, y2) представлен на рис. 2. Передвижение шашки (элемента массива) осуществляется по такому же запрограммированному алгоритму:

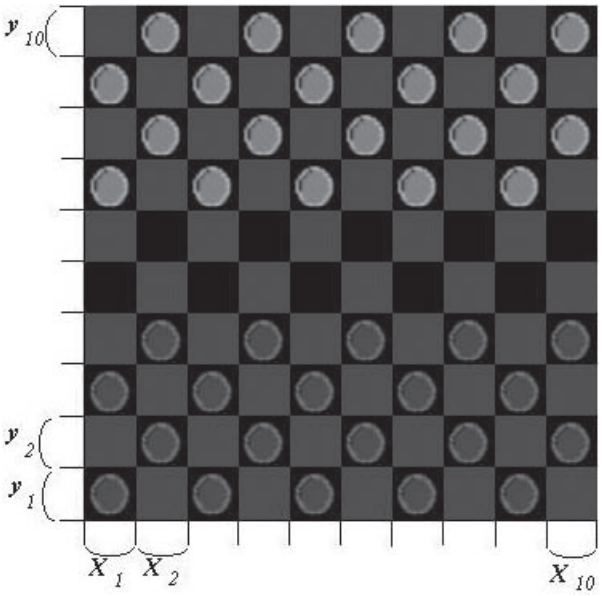


Рис. 2. Двумерный массив (x_{10}, y_{10})

```
e = 0
For k = (x1 + stepx) To (x2) Step stepx
For l = (y1 + stepy) To (y2) Step stepy
If k = l Then
Select Case qwer(k, l)
Нечётные числа
Case 1, 3, 5, 7
If zc = 2 Then
e = e + 1
ex = k
ey = l
Else
e = e + 5
End If
Чётные числа
Case 2, 4, 6, 8
If zc = 1 Then e = e + 1
ex = k
ey = l
Else e = e + 5
End If
End Select
```

Зависимости от числа шашек определяем с помощью оператора if:

```
If e = 0 Then
xy = qwer(x1, y1)
qwer(x1, y1) = qwer(x2, y2)
qwer(x2, y2) = xy – 4
f = 1
End
If e = 1 Then
xy = qwer(x1, y1)
qwer(x1, y1) = qwer(x2, y2)
qwer(x2, y2) = xy – 4
qwer(ex, ey) = 0
f = 1
fxy = 1
Else
В случае равенства нулю
qwer(x1, y1) = qwer(x1, y1) – 4
x1 = 0: y1 = 0
x2 = 0: y2 = 0
c = 0: x = 0: y = 0: e = 0
End If
```

Задание параметров массива:

```
Public Name_1, Name_2 As String
Private qwer(1 To 10, 1 To 10) As Integer
Private qwerxy(1 To 10, 1 To 10) As Integer
Private povernut As Integer
Public x1, y1, x2, y2, x, y As Integer
```

z – номер выделения: 1(0) – первый (the first), 2 – второй (the second)

c – цвет выделенной шашки: 1(0) – белая (white), 2 – черная (black)

zc – цвет выделенной шашки, которая должна ходить

d – тип выделенной шашки: 1(0) – обычная (шашка может ходить на одну клетку), 2 – “дамка” (шашка может ходить через несколько клеток)

e – число шашек между (x1, y1) и (x2, y1), своя шашка считается за две

xy – временное значение клетки поля 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0

f – показание совершения хода: 0 – не произошёл the move is false, 1 – the move is true произошёл

fxy – показание типа совершённого хода: 0 – шашки не съедены, 1 – шашка съедена

h – текстовая запись хода

hf – текстовая запись всего хода

```
Public z, zc, c, d, e, ex, ef, ey, k, l, f, fxy, xy, stepx,
stepy, i As Integer
Public h, hf
Private Sub hod()
f = 0
fxy = 0
e = 0
```

Действия определения выделения с определенной шашкой

```
If x1 = 0 Then
```

```
x1 = x: y1 = y: z = 1
Else
x2 = x: y2 = y: z = 2
End If
```

Определение цвета выделенной шашки. Если человек пытается выделить шашку, то запоминаем это с помощью логического оператора case:

```
Select Case qwer(x, y)
Case 1, 3, 5, 7
c = 1
Case 2, 4, 6, 8
c = 2
Case Else
c = 0
End Select
```

Здесь выделения также осуществляются с помощью логического оператора case:

```
If z = 1 Then
If c = zc Then
Select Case qwer(x, y)
Case 1, 2, 3, 4
qwer(x, y) = qwer(x, y) + 4
Case Else
qwer(x, y) = qwer(x, y)
End Select
Else If zc = 1 Then
```

Логическое определение, какая сторона осуществляет ход:

```
txt_system = "Ходят белые"
Else txt_system = "Ходят чёрные"
End If x1 = 0: y1 = 0
x2 = 0: y2 = 0
End If Else
If c = 0 Then
stepx = –1: stepy = –1
If x1 – x2 < 0 Then stepx = 1
If y1 – y2 < 0 Then stepy = 1
If Abs(x1 – x2) = Abs(y1 – y2) Then
Select Case qwer(x1, y1)
Case 5, 6
d = 1
Case 7, 8
d = 2
End Select
```

Для открытия файла с массивом элементов используются стандартные запрограммированный алгоритмы:

```
dir1.Path = File1.Path – Задание директории для открытия файла
On Error GoTo ErrHandler – Установка метки в случае ошибки
text1 = File1.FileName
Dim DestFile (создание массива для файла)
DestFile = "t" (t – временный файл для массива элементов)
FileCopy File1.FileName, DestFile (копирование файла)
Exit Sub
ErrHandler:
If Err = 55 Then (в случае ошибки, если файл открыт, то появится сообщение)
MsgBox "ОШИБКА", 48, "ОТКРЫТЬ"
End If
Resume Next
Exit Sub
```

Эти запрограммированные алгоритмы, описывающие основные возможности элементов массива, применимы в других отраслях науки, например в психофизиологии, а также для решения различных физико-математических или технических задач. В СПбГЭТУ "ЛЭТИ" для занятий со студентами было разработано программное обеспечение, с помощью которого можно осуществлять общение и игру в шашки [2]. В программе созданы интерфейсы для подключения сервера, а также для открытия файла с массивом элементов.

Запрограммированные алгоритмы позволили смоделировать передвижения элементов массива в виде игры в шашки. Реализацию эти алгоритмы нашли и в психофизиологических исследованиях [4]. По сути, разработка программы представила совокупность таких алгоритмов, как регистрация времени, счётчик очередности хода, оценка позиции, разнообразные передвижения элементов массива в локальной сети и Internet [2]. Студенты могут ознакомиться с основными этапами разработанных алгоритмов. С их помощью можно осуществлять непосредственные передвижения элементов массива в телекоммуникационной и информационно-измерительной системе. Важно то, что посредством этих разработок часть запрограммированных алгоритмов можно использовать и в других программах. Во время использования программы возможна регистрация времени ответных ходов в соответствии с передвижением элементов массива, что особенно важно с технической и физико-математической точки зрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ботвинник М.М.** Алгоритм игры в шахматы. М.: Наука. 1968.

2. **Иванов С.В., Аньчков М.Г., Лысенко Е.С.** Программа для моделирования передвижения элементов массива в локальной сети и Internet. Свидетельство об официальной регистрации № 2007613965 14. 09. 2007. СПбГЭТУ.

3. **Пузанков Д.В., Пантелеев М.Г., Денисов В.В., Колосов Г.Г.** Организация и проектирование функционально-ориентированных процессоров аппаратной поддержки продукционных баз знаний // Изв. вузов. Приборостроение. Тем. вып.: Проектирование аппаратных и программных средств управляющих и информационных систем. 2003. Т. 46, № 2. С. 18–23.

4. **Ivanov S.V.** New computer possibilities in laboratory diagnosis of human psychophysiological features // Pattern recognition and image analysis. 2005. Vol. 15, № 3. P. 606–608.

5. **Feldmann R.** Computer chess: Algorithms and heuristics for a deep look into the future // Proc. of the 24th Seminar on Current Trends in Theory and Practice of Informatics (SOFSEM-97) LNCS Lecture Notes in Computer Science. 1997. Vol. 1338. P. 511–522.

6. **Shannon C.E.** Programming a Computer for Playing Chess Philosophical // Magazine. 1950. Vol. 41. P. 256–275.

7. **Turing A.M.** Digital Computers Applied to Games in B.V. Bowden: Faster than Thought // A Symposium on Digital Computing Machines. Pitman. 1953. P. 286–31.

8. **Vuckovic V.** The realization of the parallel chess system using UDP communication protocol // 8th Int. conf. on telecom. in mod. sat., cable and broadc. serv. TELSIKS 2007. 26–28 Sept. 2007. Serbia: IEEE. 2007. P. 450–453.

9. http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Chess_Server сайт Wikipedia, the free encyclopedia.

10. **Иванов С.В.** Программа для исследования взаимосвязи личностных и временных реактивных характеристик людей в процессе решения задач на восприятие и распознавание образа. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007613452, 15. 08. 2007. СПбГЭТУ.

УДК 681.3.06

Е.А. Макарова

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Имитационное моделирование как инструментарий для подготовки принятия решений при выработке стратегий на макроэкономическом уровне приобретает особую важность. Это обусловлено усилением влияния непредсказуемых факторов экономического, экологического и политического характера, связанных с развитием мирового экономического кризиса. Один из путей решения проблемы оценки последствий принимаемых решений заключается в многовариантном моделировании различных сценариев управления социально-экономической системой на основе имитационной модели [1].

Существующие программные средства имитационного моделирования (приложение Simulink среды MATLAB, GPSS, AnyLogic, Arena, PowerSim и др.) обладают широким спектром возможностей для разработки динамических моделей и проведения имитационных экспериментов [2, 3]. Однако обработка данных о результатах большого количества имитационных экспериментов затруднена. Это обусловлено, в первую очередь, сложностями или даже отсутствием возможности создания базы экспериментальных данных (БЭД), которая необходима для последующего анализа данных с целью извлечения закономерностей поведения системы с применением статистических и интеллектуальных методов.

В статье представлено решение этой задачи, выполненное при разработке информационно-аналитической системы имитационного моделирования (ИАСИМ) поведения макроэкономической системы (МЭС) в среде MATLAB [4]. Структура ИАСИМ содержит следующие компоненты: имитационного моделирования (ИМ),

подготовки экспериментальных данных, нейросетевых технологий анализа данных. Компонент имитационного моделирования включает в себя динамические модели функционирования МЭС, реализованные с помощью как типовых блоков приложения Simulink, так и специальных блоков, логика работы которых написана на языке MATLAB. Компонент подготовки экспериментальных данных позволяет выполнять автоматическое формирование БЭД о результатах имитационных экспериментов. Компонент нейросетевых технологий анализа данных предполагает создание сценария анализа экспериментальных данных на основе нейронных сетей Кохонена и построения самоорганизующихся карт для контролируемых моментов времени с помощью аналитической платформы Deductor Studio. Далее рассматривается работа компонента подготовки экспериментальных данных.

План проведения экспериментов предполагает выполнение нескольких серий экспериментов, состоящих их множества групп. Формирование плана проведения одного эксперимента предполагает: задание начальных значений переменных модели; определение моментов времени подачи возмущений и принятия решений; определение моментов времени, в которые проводится анализ состояния МЭС, т. е. получение информации о состоянии МЭС и передачу в блок интеллектуального анализа данных.

В пределах одной группы эксперименты отличаются значениями переменных модели; в разных группах различными может быть и состав анализируемых переменных, и анализируемые моменты времени. Результаты экспериментов разных групп могут храниться в одном файле БЭД по желанию пользователя, если совпадают множества анализируемых признаков и моментов времени. Файл экспериментальных данных должен быть представлен в формате таблицы Excel, в которой полями являются: номер эксперимента N; момент времени t_i; множество входных координат $X(t_i)$, которое включает задающие, возмущающие и управляющие воздействия; множество выходных координат $Y(t_i)$ модели.

Проблемы, с которыми сталкивается исследователь при формировании файла экспериментальных данных, а также их решение заключаются в следующем. Первая проблема состоит в обеспечении записи требуемых значений входных и выходных переменных модели в рабочую область MATLAB в требуемые моменты времени $T = \{t_i\}$, $i = 1-k$.

Если переменная модели имеет сигнальную природу, т. е. выступает связью между элементами структурной схемы динамической модели, представленной в приложении Simulink, то запись её значений в рабочую область удобно реализуется "схемным" путем – библиотечными средствами приложения Simulink. Для этого нужные выходы из подсистем выносятся на верхний уровень модели и дополняются специальными выходными элементами – портами. Отметим, что в этом случае двумерный массив *yout*, который автоматически формируется в рабочей области, будет содержать столбцы, соответствующие анализируемым переменным, указанным с помощью портов, и строки, соответствующие моментам времени. Шаг изменения времени – переменный, его расчёт осуществляется автоматически средой MATLAB и определяется динамикой переходных процессов. Если переменная имеет параметрическую природу, то есть является параметром динамического блока на структурной схеме модели, то запись её значения в рабочую область выполняется программно. Для этого параметры блока обозначаются идентификаторами переменных, значения которых присваиваются в программе. Отметим, что параметрический характер корректировки присущ входным переменным, определяющим задающие, возмущающие и управляющие воздействия.

Организовать выборочную запись в рабочую область значений переменных в требуемые моменты времени T можно как "схемным", так и программным путем. Первый способ приводит к существенной перегрузке структурной схемы модели вспомогательными элементами и, следовательно, к потере её наглядности. Реализация второго способа предполагает, что только после окончания моделирования можно создать двумерный массив в рабочей области, который формируется путем перезаписи из массива *yout* строк, соответствующих нужным моментам времени T. Отметим, что в этот же массив целесообразно записывать и все входные переменные.

Вторая проблема – запись сформированного в соответствии с требованиями результирующего массива из рабочей области в файл. Это также реализуется программным способом.

Перечисленные выше проблемы могут быть решены только с привлечением средств

MATLAB. Для этого разработана программа AutSimModelling автоматизации процесса имитационного моделирования и подготовки данных. Функции этой программы: задание начальных значений входных переменных для моделирования; автоматический запуск процесса моделирования с помощью приложения Simulink с указанием имени *mdl*-файла, в котором хранится структурная схема динамической модели; создание результирующего файла в рабочей области MATLAB и формирование файла с требуемыми результатами моделирования. Программа реализована на языке MATLAB и представлена *m*-файлом.

Однако при работе только с этой программой в процессе проведения экспериментов остается нерешенной еще одна, третья, проблема. Эта проблема состоит в необходимости многократной корректировки исходного текста программы AutSimModelling при переходе к очередному эксперименту. Если это эксперимент одной группы, то требуется изменить только номер эксперимента и начальных значений входных переменных модели. Если выполняются эксперименты другой группы, то необходимы значительные изменения текста программы. В этом случае дополнительной корректировке подвергаются: количество и состав входных переменных и анализируемых выходных переменных, количество моментов времени и их значения, а также имя файла, где хранится модель.

Для решения этой проблемы разработана управляющая программа DBSimControlling формирования БЭД на основе ИМ, которая позволяет: во-первых, автоматически генерировать текст программы AutSimModelling в соответствии с планом эксперимента; во-вторых, хранить результаты имитационных экспериментов всех групп и серий в базе данных; в-третьих, формировать по запросу выборку для последующего анализа данных. Программа обладает удобным для исследователя интерфейсом, разработана на языке C++ с использование средств СУБД MS SQL Server. Предложена процедура работы исследователя при проведении имитационных экспериментов с помощью разработанного программного комплекса, включающего программы DBSimControlling и AutSimModelling и функционирующего в средах MATLAB и MS SQL Server (см. рисунок).

Особенности выполнения некоторых этапов процедуры состоят в следующем. Первые три этапа предполагают представление исследователю возможности автоматической генерации всех воз-

Схема процедуры проведения имитационных экспериментов с помощью комплекса программ DBSimControlling и AutSimModelling

можных комбинаций значений входных переменных по заданным для каждой переменной вариантам значений. Реализованы два режима задания вариантов значений переменных – простым перечислением или интервалом с заданным шагом. Однако некоторые сочетания значений бывают либо невозможны по экономическому смыслу, либо не нужны для исследований. Поэтому пользователь может удалить ряд комбинаций, для которых не должны проводиться эксперименты. Для оставшихся *m* комбинаций на этапе 5 генерируется код программы AutSimModelling для *m* экспериментов.

На этапе 6 исследователь запускает программу AutSimModelling на выполнение, в результате которого последовательно, без вмешательства человека, выполняется *m* экспериментов с различными наборами значений входных переменных. На этапе 8 результирующий файл преобразуется в требуемый формат для хранения в БЭД. На этапе 9 в ответ на запрос пользователя формируется файл обучающей выборки в формате таблицы Excel для интеллектуального анализа.

Таким образом, разработанный программный комплекс обеспечивает поддержку пользователя при проведении многочисленных

имитационных экспериментов по различным сценариям управления поведением МЭС в соответствии с планом экспериментов; накопление экспериментальных данных о состоянии МЭС в динамике и формирование базы экспериментальных данных; формирование обучающей выборки для интеллектуального анализа данных. Применение предложенной процедуры экспериментальных исследований с помощью программного комплекса возможно при проведении имитационных экспериментов с динамическими моделями сложных объектов различной физической природы, реализованными в среде MATLAB.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В.** Программирование, стратегическое планирование и национальное программирование: Учебник 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЗАО "Издательство Экономика", 2008. 575 с.

2. **Смоленцев Н.** MATLAB: программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA: Учеб. курс. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер. 2009. 464 с.

3. **Карпов Ю.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 400 с.

4. **Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Габдуллина Э.Р.** Моделирование динамики кругооборота финансовых потоков с учётом накопления финансовых ресурсов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 7 (61). С. 28–38.

УДК 004.451.23

М.В. Хлудова

СИНХРОНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Современное системное и прикладное программное обеспечение должно обладать важнейшим свойством: способностью к параллельному исполнению программных единиц работы, называемых заданиями. Термин "параллельное исполнение" заданий в информационных системах означает, что задания исполняются одновременно. Приложения реального времени являются параллельными по своему назначению, так как, с одной стороны, осуществляют обработку потока одновременно наступающих событий, а с другой – выработку управляющей реакции на эти события. В качестве примеров систем реального времени можно назвать системы управления технологическими процессами, контроллерные сети автомобиля и др.

Модель выделения ресурсов. Каждому заданию для выполнения предоставляется процессор и дополнительные ресурсы, перечень которых известен при проектировании приложений реального времени. Кроме того, заранее известны различные атрибуты заданий: предельный интервал времени для завершения, максимальная длительность исполнения на процессоре, список заданий-предшественников, список ресурсов, которые используются заданием в монопольном или разделяемом режиме и длительности интервалов их использования. Если несколько заданий одновременно претендуют на использование процессора, то конфликт разрешается с помощью *планировщика*. В планировщике по заданной функции предпочтения и числовым значениям атрибутов задания осуществляется расчёт величины приоритета задания. Для обслуживания на процессоре назначается самое приоритетное из числа готовых к выполнению в данный момент задание. Обслуживание на процессоре может быть прервано при поступлении в систему более приоритетного задания, если в системе заложена дисциплина планирования с вытеснением менее приоритетного задания и дообслуживанием на процессоре.

Дополнительные ресурсы (структуры данных, буферы ввода-вывода) выделяются зада-

нию по запросу. Если ресурс выделен заданию в монопольном режиме, то он не может быть предоставлен в данном интервале времени никакому другому заданию. Задание "удерживает" ресурс до того момента, пока не завершится необходимость его использования. Если задание T_i запрашивает ресурс, выделенный в настоящий момент в режиме монопольного использования заданию T_j, то задание T_i получает отказ и блокируется в ожидании освобождения ресурса. Использование ресурса не может быть прервано и, следовательно, ресурс не может быть отобран у задания и предоставлен другому заданию. Очередь заблокированных заданий обслуживается в порядке их поступления, без учёта значений приоритета заданий, рассчитанных при назначении на процессор.

Программный механизм синхронизации. В случае, когда два или более задания обновляют значения общих данных, могут возникнуть проблемы с целостностью этих данных. Для предотвращения возможных нарушений используется специальный механизм, синхронизирующий доступ к этим данным и не позволяющий нескольким заданиям изменять данные одновременно. Для синхронизации доступа к данным вводится концепция *критической секции* – части кода задания, в которой производится обновление совместно используемых данных. Кроме того, разработан ряд механизмов, обеспечивающих *взаимное исключение* – режим, гарантирующий, что в каждый момент времени критическая секция, связанная с определенным ресурсом, будет выполняться только одним заданием. Универсальным программным механизмом для реализации взаимного исключения являются семафоры [1, 2]. Семафор S – программный объект, представляющий интерфейс в виде двух операций: закрытия семафора $P(S)$ и открытия семафора $V(S)$. Атрибутами семафора в простейшем варианте выступают целое значение и очередь заданий. Операции определены таким образом, что при открытом семафоре $P(S)$ разрешает первому заданию, "завладевшему" семафором, продолжить работу, а остальные задания блокирует и помещает в очередь, связанную с данным семафором. Семафор переводится в состояние "закрыто". Операция $V(S)$ переводит семафор в состояние "открыто" и активизирует задание из начала очереди.

Для обеспечения взаимного исключения необходимо:

каждому ресурсу R, используемому в монопольном режиме, сопоставить семафор S;

каждое задание перед выполнением критической секции над ресурсом R должно выполнить операцию $P(S)$;

каждое задание после завершения критической секции над ресурсом R должно выполнить операцию $V(S)$.

Протоколы доступа к разделяемым ресурсам в монопольном режиме. При планировании заданий, получивших доступ к ресурсам с помощью семафоров, могут возникнуть большие проблемы. Низкоприоритетное задание, "завладевшее" семафором, может удерживать другие задания в состоянии ожидания вне зависимости от их приоритетов до тех пор, пока не закончит работу с ресурсом в рамках критической секции. При планировании на основе приоритетов выполнение задания на процессоре может быть прервано более высокоприоритетным заданием. За счёт возможного участия заданий среднего уровня приоритета непрогнозируемо увеличивается задержка ожидающих в очереди семафора высокоприоритетных заданий. Такая ситуация, называемая инверсией приоритетов, детально представлена в табл. 1.

Таблица 1

Ситуация инверсии приоритетов

Момент времени	Задание	Действие
t_0	T_3	Начинает выполнение
t_1	T_3	Выполняет $P(S)$ и входит в критическую секцию
t_2	T_1	Начинает выполнение и прерывает T_3
t_3	T_1	Выполняет $P(S)$ и блокируется в очереди семафора S
t_3	T_3	Возобновляет выполнение
t_4	T_2	Начинает выполнение и прерывает T_3
t_5	T_2	Завершает выполнение на процессоре
t_5	T_3	Возобновляет выполнение
t_6	T_3	Выполняет $V(S)$ и выходит из критической секции
t_6	T_1	Возобновляет выполнение и входит в критическую секцию
t_7	T_1	Выполняет $V(S)$ и выходит из критической секции
t_8	T_1	Завершает выполнение на процессоре

Пусть существует три задания T_1, T_2, T_3. Приоритеты заданий установлены следующим образом: $pr(T_1) > pr(T_2) > pr(T_3)$.

В системе используется алгоритм планирования с вытеснением менее приоритетного задания с обслуживания на процессоре. Задания T_1 и T_3 используют в монопольном режиме дополнительный ресурс, "защищенный" семафором S.

Для разрешения проблемы инверсии приоритетов предлагается [3–5] использовать протоколы из семейства протоколов "наследования приоритетов". Протоколы этого семейства предполагают временное увеличение приоритета задания, удерживающего семафор, до уровня самого приоритетного задания в очереди семафора. Эта операция называется *наследованием приоритета*. Задание, удерживающее семафор, выполняется с действующим приоритетом, равным максимуму из двух значений: исходного и унаследованного приоритетов. Применительно к описанной в табл. 1 ситуации это означает, что в момент t_3 задание T_3 наследует приоритет задания T_1, а в момент t_6 задание T_3 восстанавливает значение своего исходного приоритета. Внесенные изменения позволяют исключить непрогнозируемые задержки выполнения высокоприоритетного задания, вызываемые заданиями среднего уровня приоритета. К сожалению, использование протокола наследования приоритета в таком непосредственном виде приводит к возникновению тупиковых ситуаций (табл. 2). Рассмотрим пример выполнения двух заданий T_1, T_2 с исходными приоритетами $pr(T_1) < pr(T_2)$. Задания используют в монопольном режиме ресурсы, "защищённые" семафорами S_1 и S_2.

Для систем реального времени заранее известен перечень заданий и ресурсов, используемых каждым из них. Используя эту информацию, можно дополнить протокол таким образом, чтобы предотвратить возможность наступления тупиковой ситуации [4, 6].

Для каждого семафора S_i определяется на множестве заданий, использующих ресурс, "защищённый" данным семафором, наиболее приоритетное задание T^m. Значение приоритета этого задания $pr(T^m)$ называют *порогом приоритета семафора* и включают в число атрибутов семафора S_i. Основная идея протокола пороговых приоритетов (ППП) заключается в том, что даже если семафор свободен, задание может "захватить" его лишь в случае, когда все остальные семафоры, удерживаемые в данный момент заданиями, имеют более низкий порог приоритета, чем приоритет данного задания. В приведенном примере (см. табл. 2) порог приоритета обоих семафоров S_1 и S_2 равен приоритету задания T_2. В интервале от t_0 до t_2 события при использовании ППП развиваются аналогично. В момент t_3 задание T_2 пытается захватить семафор S_1, но приостанавливается, так как порог S_2 (уже удерживаемого заданием T_1) равен приоритету T_2 и задание T_2 не блокируется в очереди семафора S_2. Далее задание T_1 наследует приоритет задания T_2 и выполняется до завершения критической секции, освобождает семафор и завершается. Таким образом, на простом примере видно, что ППП предотвращает наступление тупиковой ситуации.

Таблица 2

Тупиковые ситуации

Момент времени	Задание	Действие
t_0	T_1	Начинает выполнение
t_1	T_1	Выполняет $P(S_2)$ и входит в критическую секцию
t_2	T_2	Начинает выполнение и прерывает T_1
t_3	T_2	Выполняет $P(S_1)$ и входит в критическую секцию
t_4	T_2	Пытается выполнить $P(S_2)$ и блокируется в очереди семафора S_2
t_5	T_1	Наследует приоритет T_2 и продолжает выполнение
t_6	T_1	Пытается выполнить $P(S_1)$ и блокируется в очереди семафора S_1
t_7		Оба задания заблокированы, так как наступила тупиковая ситуация

Рассмотрим свойства ППП более детально, для чего определим новую переменную – текущий порог приоритета в системе $\Pi(t)$, как максимальный пороговый приоритет среди всех семафоров, "удерживаемых" заданиями в момент t. Если все ресурсы в системе свободны и, соответственно, ни один семафор не "удерживается" заданием, то значению $\Pi(t)$ присваивается несуществующий уровень приоритета, ниже самого низкого значения в системе.

Планирование заданий и выделение им дополнительных ресурсов происходит при использовании ППП следующим образом.

1. При возникновении задания T_i устанавливается значение его приоритета $pr(T_i)$, которое остается неизменным, за исключением ситуации, описанной в п. 5.

2. Планирование осуществляется на приоритетной основе с вытеснением более низкоприоритетного задания (при выполнении его на процессоре).

3. Список дополнительных ресурсов, необходимых для выполнения задания, известен до его выполнения.

4. Когда задание T_i запрашивает в момент t дополнительный ресурс R, то может произойти один из следующих сценариев развития:

а) ресурс R уже выделен другому заданию T_j в монопольном режиме, поэтому запрос не может быть выполнен, а задание T_i блокируется и помещается в очередь семафора, "защищающего" ресурс R;

б) ресурс R свободен. Тогда,

если $pr(T_i) > \Pi(t)$, то ресурс R выделяется заданию T_i;

если $pr(T_i) \le \Pi(t)$, то осуществляется дополнительная проверка (если T_i уже "удерживает" семафор с порогом приоритета $\Pi(t)$, то ресурс R выделяется заданию T_i, в противном случае в удовлетворении запроса отказывается и задание T_i блокируется).

5. Если задание T_i блокируется (п. 4а), то оно "наследует" приоритет задания T_j. При этом оно получит приоритет $pr(T_j)$ до момента освобождения каждого ресурса, защищенного семафором, чей порог приоритета выше или равен $pr(T_j)$; затем приоритет T_i возвращается к исходному значению, которое было до выделения ресурсов заданию T_i.

Из приведенного описания функционирования однопроцессорной системы по ППП можно сделать следующие выводы:

если задание блокируется (п. 4а), то блокировка осуществляется только одним заданием;

задание, которое блокирует задание T_i, не может быть само заблокировано;

невозможны транзитивные блокировки заданий;

для однопроцессорной системы блокировка задания при использовании ППП возможна в течение интервала времени, не превышающего длительности одной критической секции.

В последнее время актуальными стали исследования временных характеристик для распределённых приложений реального времени [7]. В этом случае задание T_i может использовать не только локальные ресурсы того узла, на котором оно выполняется, но и удалённые ресурсы других узлов. Использование удалённых ресурсов осуществляется в рамках глобальных критических секций (ГКС) задания T_i на удалённом узле. Для синхронизации распределённых приложений предлагается применять версию многопроцессорного ППП (МППП), которая является расширением ППП и отличается допускаемыми величинами интервалов блокировки заданий. Согласно МППП планировщик на каждом узле определяет порядок выполнения локальных заданий и ГКС в соответствии со значениями их приоритетов. Доступ к ресурсам узла контролируется на основе ППП.

Рассмотрим пример, демонстрирующий применение МППП. Система состоит из двух узлов. На первом узле выполняются задания T_1, T_2, T_3. Приоритеты заданий установлены следующим образом: $pr(T_1) > pr(T_2) > pr(T_3)$.

На этом узле расположен ресурс R_1, защищённый семафором S_1.

На втором узле выполняются задания T_4, T_5. Приоритеты заданий установлены следующим образом: $pr(T_4) > pr(T_5)$. На этом узле расположен ресурс R_2, защищенный семафором S_2. Ресурс R_2 используется и как локальный заданиями T_4, T_5, так и в удалённом режиме заданием T_1, поэтому он является глобальным ресурсом. На втором узле выполняется ГКС задания T_1 с наивысшим приоритетом. Временная диаграмма выполнения заданий, использующих локальные и глобальные ресурсы под управлением МППП, представлена на рисунке.

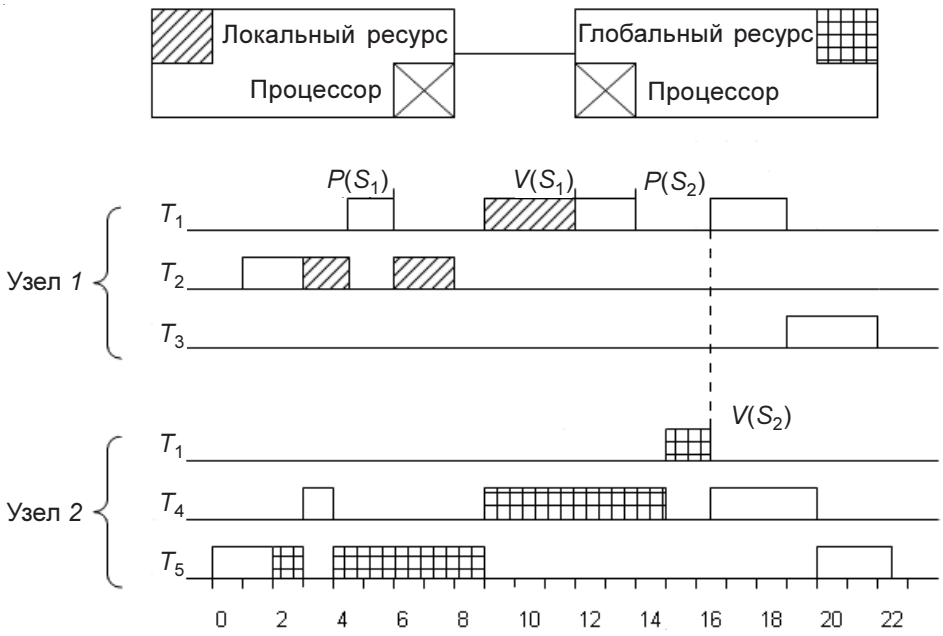
Из диаграммы видно:

на узле 1 задание T_1 блокируется локальным низкоприоритетным заданием в T_2 в течение интервала времени Δ_1 с момента 6 по момент 8;

выполнение ГКС задания T_1 с использованием ресурса R2 на узле 2 блокируется локальной критической секцией задания T_4 в течение интервала времени Δ_2 с момента 13 по момент 15;

выполнение ГКС задания T_1 с использованием ресурса R2 на узле 2 задерживает выполнение задания T_4 в течение интервала времени Δ_3 с момента 15 по момент 16.

В общем случае длительность суммарного времени ожидания задания при использовании МППП складывается из пяти составляющих:



Применение многопроцессорного ППП

времени блокировок на локальном процессоре из-за использования разделяемых локальных ресурсов (типа Δ_1);

времени удалённых блокировок на удалённом процессоре из-за использования разделяемых глобальных ресурсов (типа Δ_2);

задержек выполнения на локальном узле, внесённых путем вытеснения задания и назначения ГКС заданий более высокого приоритета с другого узла (типа Δ_3);

задержек выполнения на удалённом узле, внесённых вытеснением ГКС задания и назначением ГКС более высокоприоритетного задания;

задержек выполнения на локальном процессоре из-за ожидания завершения заданий более высокого приоритета.

Расширенная версия ППП позволяет синхронизировать доступ к локальным и удалённым ресурсам в распределённых приложениях. Для обеспечения успешного функционирования распределённого приложения на этапе проектирования необходимо рассчитать значения всех составляющих суммарного времени ожидания для каждого задания и оценить возможность завершения заданий в пределах установленных сроков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бэкон Д., Харрис Т.** Операционные системы. Параллельные и распределенные системы. СПб.: Питер. 2004. 800 с.

2. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Сетевые операционные системы. СПб.: Питер. 2001. 544 с.

3. Операционная система реального времени QNX Neutrino 6.3. Системная архитектура: Пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 336 с.

4. **Никифоров В.В.** Операционные системы реального времени: Уч-метод. пособие. СПб.: Изд-во РГПУ. 2007. 109 с.

5. **Davari S., Sha L.** Sources of unbounded priority inversion in real-time systems and comparative study of possible solutions // ACM Operating Systems Review. 1992. Vol. 26, № 2.

6. **Goodenough J.B., Sha L.** The priority ceiling protocol: a method for minimizing the blocking of high priority Ada tasks // Proc. 2nd Intern. workshop on real-time Ada. 1998. Issues VIII, № 7.

7. **Керимов М.А., Хлудова М.В.** Контроллерные сети в автомобильных приложениях: факторы надежности функционирования // Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. / СПбГАУ. СПб. 2009. С. 80–85.

УДК 004.942

А.П. Росенко, Е.С. Клименко

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ЗАВИСИМЫХ ВНУТРЕННИХ УГРОЗ

Марковские случайные процессы с дискретными и непрерывными состояниями широко применяются для исследования влияния внутренних угроз (ВУ) на безопасность конфиденциальной информации (КИ) [1–3]. Как показывает анализ статистической информации, существенный ущерб, наносимый собственнику КИ, связан с воздействием на автоматизированную информационную систему (АИС) и реализацией злоумышленником не только независимых, но и зависимых ВУ [4, 5].

Зависимость внутренних угроз можно показать на следующем примере: ошибка программиста по созданию программного продукта не зависит от несанкционированного съёма КИ посредством внедрения программной закладки, но порождает её, и наоборот, когда несанкционированный съём КИ, осуществляемый с помощью программной закладки, возникает независимо от ошибочных действий программиста, но порождает её.

В статье предлагается математическая модель, методика применения марковских случайных процессов с дискретным параметром для оценки безопасности конфиденциальной информации с учётом воздействия на АИС зависимых ВУ.

Математическая модель рассматриваемого процесса

Пусть на АИС воздействует n зависимых ВУ, которые могут взаимно порождаться с вероятностями r_{1i}, ..., r_{in}, как это показано на рис. 1.

Примем следующие обозначения: q_{01}, ..., q_{0i}, ..., q_{0n} – вероятность возникновения i-й ВУ; R_{10}, ..., R_{i0}, ..., R_{i0} – вероятности парирования возникшей i-й внутренней угрозы; $\overline{R}_{1,n+1}$, ..., $\overline{R}_{i,n+1}$, ..., $\overline{R}_{n,n+1}$ – вероятности непарирования возникшей i-й внутренней угрозы; 0, 1, ..., i, ..., n, $n+1$ – состояния, в которых может оказаться рассматриваемая система в результате воздействия n зависимых ВУ. При этом состояние $n+1$ соответствует поглощающему состоянию.

В соответствие с рис. 1 матрицу вероятностей перехода системы из состояния в состояние можно представить следующим образом:

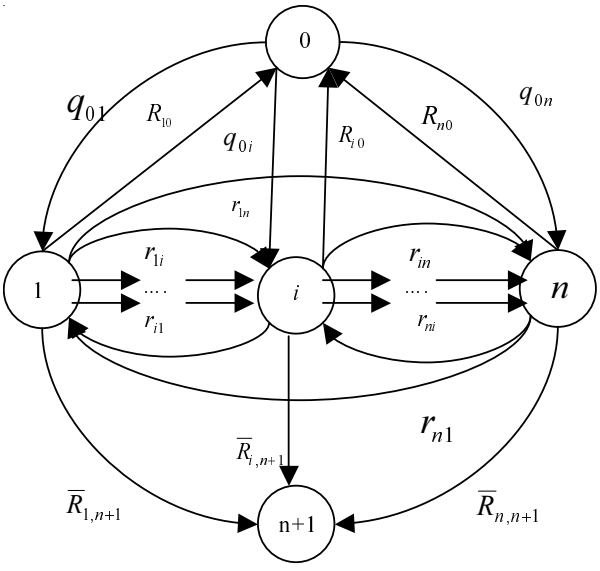


Рис. 1. Граф состояний при воздействии на систему n зависимых внутренних угроз

$$\left\|P_{ij}\right\| = \begin{vmatrix} 1-q_\Sigma & q_{01} & \dots & q_{0i} & \dots & q_{0n} & 0 \\ R_{10} & 0 & \dots & r_{1i} & \dots & r_{1n} & \overline{R}_{1n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{i0} & r_{i1} & \dots & 0 & \dots & r_{in} & \overline{R}_{i,n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n0} & r_{n1} & \dots & r_{ni} & \dots & 0 & \overline{R}_{n,n+1} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где $q_\Sigma = q_{01} + \dots + q_{0i} + \dots + q_{0n}$.

Матрица (1) является математической моделью, описывающей процесс перехода системы из состояния в состояние, вызванного воздействием на АИС двух зависимых внутренних угроз. Определим вероятности перехода системы в возможные состояния в соответствии с матрицей (1).

Определение вероятностей перехода системы в различные состояния

Пусть АИС в начальный момент (перед первым шагом) находится в состоянии x_n. Тогда для начального момента ($n = 0$) вероятности всех состояний равны нулю, кроме вероятности начального состояния $P_n(0) = 1$.

После первого шага ($k = 1$) АИС перейдет из состояния x_n в одно из состояний $x_1, \dots, x_i, \dots, x_m$ с вероятностями

$$P_{n1}, \dots, P_{ni}, \dots, P_{nm}.$$

Тогда n-я строчка матрицы переходных вероятностей будет иметь вид

$$P_n(1) = P_{n1}; \dots, P_i(1) = P_{ni}; \dots; P_m(1) = P_{nm}.$$

Вероятности состояний АИС после второго шага определяются по формуле полной вероятности, а именно

$$P_i(2) = \sum_{j=0}^{m} P_j(1) P_{ji}. \quad (2)$$

При этом должна выполняться гипотеза о том, что АИС после первого шага может быть в любом из возможных состояний.

Тогда с учётом (2) матрица переходных вероятностей после k-го шага примет вид

$$P_i(k) = \sum_{j=0}^{m} P_j(k-1) P_{ji}, \text{ где i} = 0, 1, 2, \dots, k, \quad (3)$$

а вероятности перехода АИС за k шагов

$$P_{ij} = \sum_{n=0}^{m} P_{in} P_{nj}(k-1), \text{ где } k \geq 2. \quad (4)$$

Используя выражения (3) и (4) для исходных данных, соответствующих вероятностям

$$P_0(0) = 1; P_1(0) = \dots = P_i(0) = \dots = P_n(0) = P_{n+1}(0) = 0,$$

составим выражения для определения вероятностей состояний системы после каждого шага.

После первого шага вероятности состояний будут равны:

$$P_0(1) = 1 - q_\Sigma; P_1(1) = q_{01}; \dots;$$
$$P_i(1) = q_{0i}; \dots; P_n(1) = q_{0n}; \quad (5)$$
$$P_{n+1}(1) = 0.$$

Вероятности состояний после второго шага в окончательном варианте примут вид:

$$P_0(2) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(1) P_{j0} = P_0(1) P_{00} + P_1(1) P_{10} + \dots$$
$$\dots + P_i(1) P_{i0} + \dots + P_n(1) P_{n0} + P_{n+1}(1) P_{n+1,0};$$

$$P_1(2) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(1) P_{j1} = P_0(1) P_{01} + P_1(1) P_{11} + \dots$$
$$\dots + P_i(1) P_{i1} + \dots + P_n(1) P_{n1} + P_{n+1}(1) P_{n+1,1}; \dots,$$

$$P_i(2) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(1) P_{ji} = P_0(1) P_{0i} + P_1(1) P_{1i} + \dots$$
$$\dots + P_i(1) P_{ii} + \dots + P_n(1) P_{ni} + P_{n+1}(1) P_{n+1,i}; \dots,$$

$$P_n(2) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(1) P_{jn} = P_0(1) P_{0n} + P_1(1) P_{1n} + \dots$$
$$\dots + P_i(1) P_{in} + \dots + P_n(1) P_{nn} + P_{n+1}(1) P_{n+1,n};$$

$$P_{n+1}(2) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(1) P_{j,n+1} = P_0(1) P_{0,n+1} + P_1(1) P_{1,n+1} + \dots$$
$$\dots + P_i(1) P_{i,n+1} + P_n(1) P_{n,n+1} + P_{n+1}(1) P_{n+1,n+1}.$$

Вероятность благоприятного исхода от воздействия на систему внутренних угроз после второго шага преобразований примет вид:

$$P_{\text{БИ}}(2) = P_0(2) + P_1(2) + \dots + P_i(2) + \dots + P_n(2).$$

Тогда вероятность неблагополучного исхода определится следующим образом:

$$Q_{\text{БИ}}(2) = 1 - P_{\text{БИ}}(2) = P_{n+1}(2).$$

Аналогичным образом определяются вероятности состояний после i-го шага:

$$P_0(i) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(i-1)P_{j0} = P_0(i-1)P_{00} + \\ + P_1(i-1)P_{10} + \ldots + P_i(i-1)P_{i0} + \ldots \\ \ldots + P_n(i-1)P_{n0} + P_{n+1}(i-1)P_{n+1,0};$$

$$P_1(i) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(i-1)P_{j1} = P_0(i-1)P_{01} + \\ + P_1(i-1)P_{11} + \ldots + P_i(i-1)P_{i1} + \ldots \\ \ldots + P_n(i-1)P_{n1} + P_{n+1}(i-1)P_{n+1,1}; \ldots,$$

$$P_i(i) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(i-1)P_{ji} = P_0(i-1)P_{0i} + \\ + P_1(i-1)P_{1i} + \ldots + P_i(i-1)P_{ii} + \ldots \\ + P_n(i-1)P_{ni} + P_{n+1}(i-1)P_{n+1,i}; \ldots,$$

$$P_n(i) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(i-1)P_{ji} = P_0(i-1)P_{0n} + P_1(i-1)P_{1n} + \ldots \\ \ldots + P_i(i-1)P_{in} + \ldots + P_n(i-1)P_{nn} + P_{n+1}(i-1)P_{n+1,n};$$

$$P_{n+1}(i) = \sum_{j=1}^{n+1} P_j(i-1)P_{ji} = P_0(i-1)P_{0,n+1} + \\ + P_1(i-1)P_{1,n+1} + \ldots + P_i(i-1)P_{i,n+1} + \ldots \\ + P_n(i-1)P_{n,n+1} + P_{n+1}(i-1)P_{n+1,n+1}.$$

После i-го шага преобразований вероятность благополучного исхода от воздействия на систему зависимых ВУ определится следующим образом:

$$P_{\text{БИ}}(i) = P_0(i) + P_1(i) + \ldots + P_i(i) + \ldots + P_n(i),$$

а вероятность противоположного события, т. е. неблагополучного исхода,

$$Q_{\text{БИ}}(i) = P_{n+1}(i).$$

После n-го шага вероятности состояний примут вид:

$$P_0(n) = \sum_{j=0}^{n} P_j(n-1)P_{jn} = P_0(n-1)P_{00} + \\ + P_1(n-1)P_{10} + \ldots + P_i(n-1)P_{i0} + \ldots + P_n(n-1)P_{n0} + \\ + P_{n+1}(n-1)P_{n+1,0};$$

$$P_1(n) = \sum_{j=0}^{n+!} P_j(n-1)P_{j1} = P_0(n-1)P_{01} + P_1(n-1)P_{11} + \ldots \\ \ldots + P_i(n-1)P_{i1} + \ldots + P_n(n-1)P_{n1} + P_{n+1}(n-1)P_{n+1,1}; \ldots,$$

$$P_i(n) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(n-1)P_{ji} = P_0(n-1)P_{0i} + \\ + P_1(n-1)P_{1i} + \ldots + P_i(n-1)P_{ii} + \ldots \\ + P_n(n-1)P_{ni} + P_{n+1}(n-1)P_{n+1,i}; \ldots,$$

$$P_n(n) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(n-1)P_{jn} = P_0(n-1)P_{0n} + \\ + P_1(n-1)P_{1n} + \ldots + P_i(n-1)P_{in} + \ldots \\ + P_n(n-1)P_{nn} + P_{n+1}(n-1)P_{n+1,n};$$

$$P_{n+1}(n) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(n-1)P_{jn} = P_0(n-1)P_{0,n+1} + \\ + P_1(n-1)P_{1,n+1} + \ldots + P_i(n-1)P_{i,n+1} + \ldots \\ + P_n(n-1)P_{n,n+1} + P_{n+1}(n-1)P_{n+1,n+1}.$$

После n-го шага преобразований вероятность благополучного исхода от воздействия на систему ВУ равна

$$P_{\text{БИ}}(n) = P_0(n) + P_1(n) + \ldots + P_i(n) + \ldots + P_n(n),$$

а вероятность противоположного события, т. е. неблагополучного исхода,

$$Q_{\text{БИ}}(n) = P_n(n).$$

Аналогичным образом определяются вероятности состояний после $(n+1)$-го шага, которые после преобразования примут вид:

$$P_0(n+1) = \sum_{j=0}^{n+!} P_j(n-1)P_{jn} = P_0(n)P_{00} + P_1(n)P_{10} + \ldots \\ \ldots + P_i(n)P_{i0} + \ldots + P_n(n)P_{n0} + P_{n+1}(n)P_{n+1,0};$$

$$P_1(n+1) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(n-1)P_{jn} = P_0(n)P_{01} + P_1(n)P_{11} + \ldots \\ + P_i(n)P_{i1} + \ldots + P_n(n)P_{n1} + P_{n+1}(n)P_{n+1,1}; \ldots,$$

$$P_i(n+1) = \sum_{j=0}^{n+1} P_j(n-1)P_{ji} = P_0(n)P_{0i} + P_1(n)P_{1i} + \ldots \\ + P_i(n)P_{ii} + \ldots + P_n(n)P_{ni} + P_{n+1}(n)P_{n+1,i}; \ldots,$$

$$P_n(n+1)=\sum_{j=0}^{n-1}P_j(n-1)P_{jn}=P_0(n)P_{0,n}+P_1(n)P_{1,n}+\ldots$$
$$+P_i(n)P_{i,n}+\ldots+P_n(n)P_{n,n}+P_{n+1}(n)P_{n+1,n};$$

$$P_{n+1}(n+1)=\sum_{j=1}^{n}P_j(n-1)P_{jn}=P_0(n)P_{0,n+1}+$$
$$+P_1(n)P_{1,n+1}+\ldots+P_i(n)P_{i,n+1}+P_n(n)P_{n,n+1}+$$
$$+P_{n+1}(n)P_{n+1,n+1}.$$

После $(n+1)$-го шага преобразований вероятность благополучного исхода от воздействия на систему ВУ равна

$$P_{\text{БИ}}(n+1)=P_0(n+1)+$$
$$+P_1(n+1)+\ldots P_i(n+1)+\ldots+P_n(n+1),$$

а вероятность противоположного события, т. е. неблагополучного исхода, определится из соотношения:

$$Q_{\text{БИ}}(n+1)=P_{n+1}(n+1)=1.$$

Частный случай

Пусть на систему воздействуют две зависимые ВУ, как это показано на рис. 2, которые могут взаимно порождаться с вероятностями r_{12} и r_{21}. Обозначим через q_{01} и q_{02}, вероятность возникновения первой и второй угрозы.

Парирование первой и второй ВУ происходит с вероятностью R_{10} и R_{20}, а вероятности непарирования соответственно $\overline{R}_{13}$ и $\overline{R}_{23}$.

В соответствии с рис. 2 система может находиться в следующих состояниях:

"0" – исходное состояние системы (внутренние угрозы не проявляются);

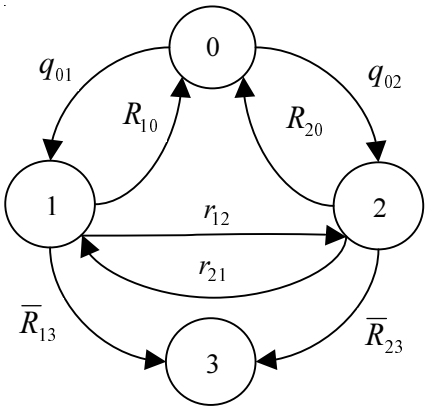


Рис. 2. Граф состояний при воздействии на систему двух зависимых внутренних угроз

"1" – первая ВУ проявилась с вероятностью q_{01}, ее парирование осуществляется с вероятностью R_{10}. Успешное парирование переводит АИС из состояния "1" в исходное нулевое состояние;

"2" – вторая ВУ проявилась с вероятностью q_{02}, ее парирование и переход в нулевое состояние осуществляется с вероятностью R_{20};

"3" – поглощающее состояние, когда система может перейти из состояния "1" с вероятностью $\overline{R}_{13}$ и из состояния "2" – с вероятностью $\overline{R}_{23}$. Поглощающее состояние характеризует утечку конфиденциальной информации в результате реализации злоумышленником ВУ.

Как видно из рис. 2, система может находиться в состоянии "1" без парирования второй ВУ и, наоборот, в состоянии "2" без парирования первой ВУ. Это возможно, когда первая ВУ возникает независимо от второй, но порождает её, либо когда вторая ВУ возникает независимо от первой, но порождает её.

Определим вероятности нахождения АИС в различных состояниях.

В соответствии с рис. 2 матрицу вероятностей перехода системы из состояния в состояние можно представить следующим образом:

$$\left\|P_{ij}\right\|=\begin{vmatrix}1-q_\Sigma & q_{01} & q_{02} & 0\\ R_{10} & 0 & r_{12} & \overline{R}_{13}\\ R_{20} & r_{21} & 0 & \overline{R}_{23}\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{vmatrix}. \qquad (6)$$

Матрица (6) является математической моделью, описывающей процесс воздействие на АИС двух зависимых внутренних угроз.

Применяя предложенные в общем случае выражения (3) и (4) для исходных данных, соответствующих вероятностям

$$P_0(0)=1 \text{ и } P_1(0)=P_2(0)=P_3(0)=0,$$

можно определить вероятности состояний системы после каждого шага.

После первого шага вероятности состояний равны: $P_0(1)=1-q_\Sigma$, $P_1(1)=q_{01}$, $P_2(1)=q_{02}$, $P_3(1)=0$. Тогда вероятности состояний после второго шага:

$$P_0(2)=(1-q_\Sigma)^2+q_{01}R_{10}+q_{02}R_{20};$$
$$P_1(2)=(1-q_\Sigma)q_{01}+q_{02}r_{21};$$

$$P_2(2) = (1 - q_\Sigma)q_{02} + q_{01}r_{12};$$
$$P_3(2) = q_{01}r_{12}. \quad (7)$$

Из выражения (7) можно определить вероятность благоприятного исхода от воздействия на систему внутренних угроз после второго шага преобразований

$$P_{БИ}(2) = P_0(2) + P_1(2) + P_2(2).$$

Тогда вероятность неблагополучного исхода определяется следующим образом:

$$Q_{БИ}(2) = 1 - P_{БИ}(2) = P_3(2)$$

или

$$Q_{БИ}(2) = q_{01}\overline{R}_{13} + q_{02}\overline{R}_{23}.$$

Вероятности состояния системы после третьего шага будут таковы

$$P_0(3) = (1-q_\Sigma)^3 + \sum_{i=1}^{2} q_{0i}R_{i0} +$$
$$+ (1-q_\Sigma)(q_{01}R_{10} + q_{02}R_{20}) + q_{02}r_{21}R_{10} + q_{01}r_{12}R_{20};$$

$$P_1(3) = \left[(1-q_\Sigma)^2 + \sum_{i=1}^{2} q_{0i}R_{i0}\right]q_{01} +$$
$$+ \left[(1-q_\Sigma)q_{02} + q_1r_{12}\right]r_{21};$$

$$P_2(3) = \left[(1-q_\Sigma)^2 + \sum_{i=1}^{2} q_{0i}R_i\right]q_{02} +$$
$$+ \left[(1-q_\Sigma)q_{01} + q_{02}r_{21}\right]r_{12};$$

$$P_3(3) = \left[(1-q_\Sigma)q_{01} + q_{02}r_{21}\right]\overline{R}_{13} +$$
$$+ \left[(1-q_\Sigma)q_{02} + q_{01}r_{12}\right]\overline{R}_{23}.$$

После третьего шага преобразований вероятность благополучного исхода от воздействия на систему ВУ равна $P_{БИ}(3) = P_0(3) + P_1(3) + P_2(3)$, а вероятность противоположного события, т. е. неблагополучного исхода, определяется из соотношения $Q_{БИ}(3) = P_3(3)$.

Используем полученные зависимости для определения вероятности благополучного исхода с учётом воздействия на АИС зависимых внутренних угроз.

Результаты математического моделирования

Определим вероятность благополучного исхода от воздействия на АИС двух зависимых внутренних угроз в соответствии с рис. 2 [2].

Исходные данные для расчёта: матрица вероятностей перехода (6); $P_0(0) = 1$; $P_1(0) = P_2(0) = P_3(0) = 0$; вероятность возникновения внутренней угрозы варьируется в пределах от $q_{01} = 0{,}0$ до $q_{01} = 0{,}8$; вероятность возникновения второй внутренней угрозы $q_{02} = 0{,}2$; вероятность парирования второй внутренней угрозы $R_{20} = 0{,}2$, а вероятности взаимного порождения внутренних угроз $r_{12} = r_{21} = 0{,}2$; вероятность парирования проявившейся внутренней угрозы $R_{10} = 0{,}2$; количество шагов моделирования 12.

Результаты моделирования приведены на рис. 3, *а*.

Пусть $R_{10} = 0{,}6$. Тогда при исходных данных, соответствующих первой задаче, результаты моделирования будут иметь вид, представленный на рис. 3, *б*.

Анализ результатов моделирования, (рис. 3, *а* и *б*) позволяет сделать следующие выводы: система может оказаться в поглощающем состоянии после второго и последующих шагов; с увеличением вероятности R_{10} наблюдается устойчивое сближение графиков, построенных для значений от $q_{01} = 0{,}2$ до $q_{01} = 0{,}8$, с графиком для $q_{01} = 0{,}0$; результаты моделирования показывают, что график для $q_{01} = 0{,}0$ практически не изменяет своего положения с ростом R_{10} (слабо выраженная тенденция роста); можно показать, что при $R_{10} \to 1{,}0$ графики при изменении параметра $q_{01} = 0{,}2 - 0{,}8$ сливаются с графиком для $R_{10} = 0{,}0$.

Определим указанную вероятность для исходных данных, рассмотренных в первой и второй задаче, за исключением того, что будем изменять вероятность парирования второй проявившейся угрозы от $R_{20} = 0{,}4$ до $R_{20} = 0{,}6$, а вероятность R_{10} – зафиксируем со значением $R_{10} = 0{,}2$.

Результаты моделирования иллюстрирует рис. 4, *а* (для значений $R_{20} = 0{,}4$) и рис. 4, *б* (для значений $R_{20} = 0{,}6$).

Анализ результатов моделирования (рис. 4, *а* и *б*) позволяет сделать следующие выводы: с увеличением вероятности R_{20} наблюдается незначительный рост вероятности благополучного исхода от воздействия на АИС внутренних угроз во всем диапазоне изменения параметра q_{01}, т. е. для $q_{01} = 0{,}0 - 0{,}8$; анализ также показывает на отсутствие сближения графиков при изменении параметров q_{01} и R_{20}, что свидетельствует о положительном влиянии параметра R_{20} на вероятность

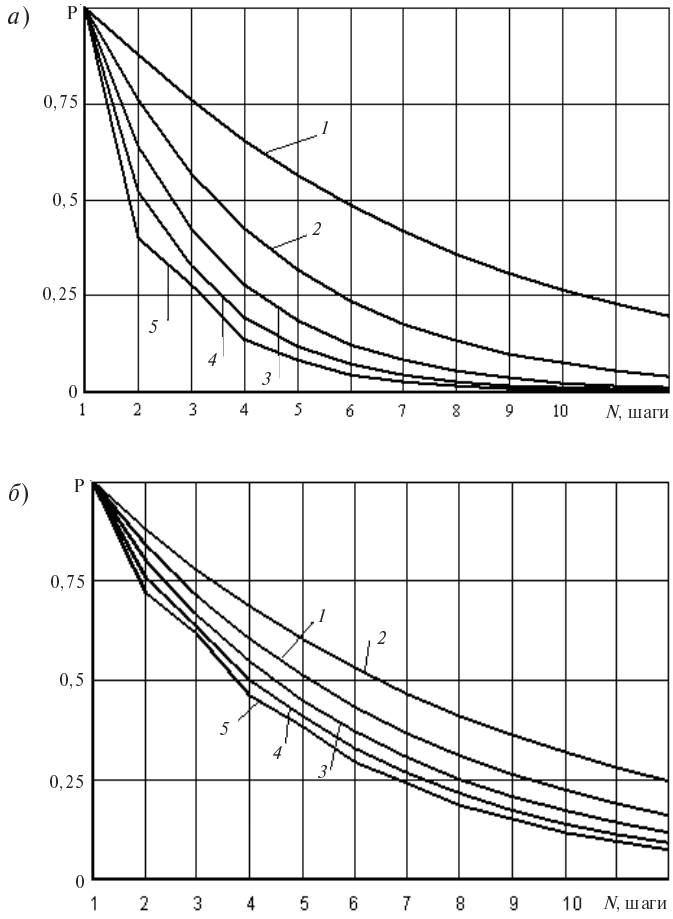


Рис. 3. Зависимость вероятности благополучного исхода от воздействия на АИС двух зависимых внутренних угроз:
а – для значений $R_1 = 0{,}2$; *б* – для $R_1 = 0{,}6$
1 – $q_1 = 0{,}0$; *2* – $q_1 = 0{,}2$; *3* – $q_1 = 0{,}4$; *4* – $q_1 = 0{,}6$; *5* – $q_1 = 0{,}8$

благополучного исхода во всем диапазоне изменения параметра q_{01}; после первого шага расчёта система не переходит в поглощающее состояние, что соответствует благополучному исходу от воздействия на АИС внутренней угрозы; начиная со второго шага расчёта, система может попасть в поглощающее состояние, при этом вероятность такого состояния существенно зависит от возможностей по парированию проявившейся внутренней угрозы; абсолютная величина изменения вероятности перехода системы в поглощающее состояние возрастает с увеличением количества шагов, что свидетельствует о необходимости совершенствования применяемых защитных механизмов в случае многократного проявления внутренних угроз.

С увеличением R_{20} все графики плавно смещаются в направлении увеличения вероятности благополучного исхода от воздействия внутренних угроз на АИС. Это свидетельствует о том, что у собственника КИ имеются различные варианты применения защитных механизмов. В зависимости от имеющихся материальных ресурсов он может реализовать те из них, которые дают положительный наилучший эффект в отношении защиты КИ.

Таким образом, разработанные математические модели на основе марковских случайных процессов с дискретными состояниями позволяют получить количественные зависимости, характеризующие степень влияния проявившихся внутренних угроз на безопасность информации ограниченного распространения.

Результаты моделирования могут использоваться для определения наиболее опасных внут-

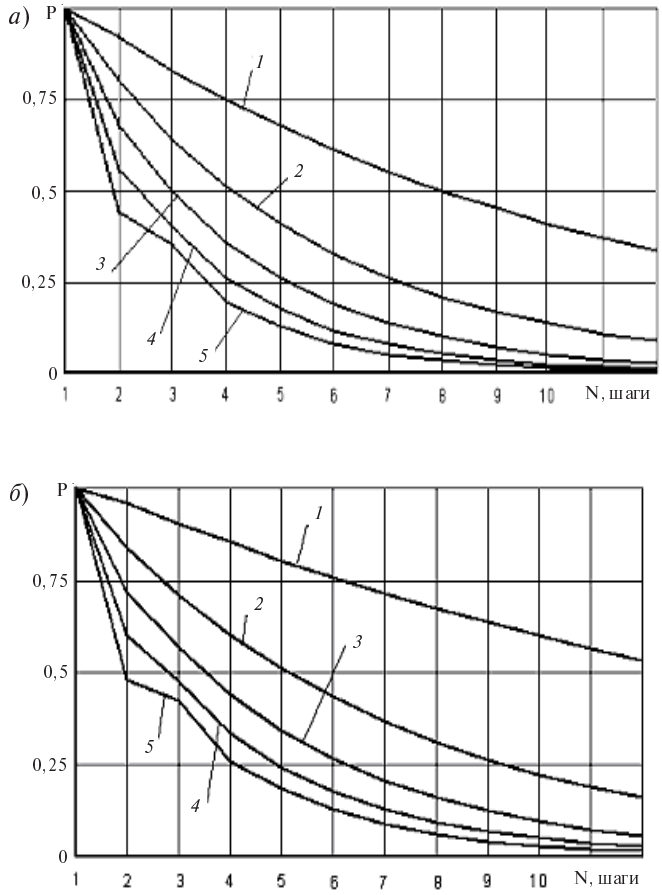


Рис. 4. Зависимость вероятности благополучного исхода от воздействия на АИС двух зависимых внутренних угроз:
а – для значений $R_2 = 0{,}4$; *б* – для $R_2 = 0{,}6$
1 – $q_1 = 0{,}0$; *2* – $q_1 = 0{,}2$; *3* – $q_1 = 0{,}4$; *4* – $q_1 = 0{,}6$; *5* – $q_1 = 0{,}8$

ренних угроз, последствий их воздействия на АИС, а также разработки организационно-профилактических мероприятий по предупреждению воздействия на АИС внутренних угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Росенко А.П., Клименко Е.С.** Математическое моделирование процесса воздействия внутренних угроз на безопасность конфиденциальной информации // Информационные технологии и безопасность. Менеджмент информационной безопасности: Сб. науч. тр. Вып. 10. К.: НАН Украины. 2007. С. 40–45.

2. **Росенко А.П., Клименко Е.С., Руденко А.В.** Моделирование воздействия на автоматизированную информационную систему внутренних угроз. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 8458, зарегистрированное в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 08.06.2007.

3. **Росенко А.П., Клименко Е.С.** Методологические основы системной классификации внутренних угроз безопасности конфиденциальной информации // Комплексная защита информации: Матер. XI Междунар. конф. 20–23 марта 2007 года, г. Новополоцк (Республика Беларусь). Минск: Амалфея. 2007. С. 202–204.

4. Внутренние ИТ-угрозы в России. Исследовательские компании InfoWatch. 2006-08. www.info watch.ru.

5. **Росенко А.П.** Теоретические основы анализа и оценки влияния внутренних угроз на безопасность конфиденциальной информации: Монография. М.: Гелиос АРВ. 2008. 154 с.

УДК 681.513.66

И.В. Гришин

АЛГОРИТМ КОМПЕНСАЦИИ МЕЖСИМВОЛЬНОЙ И МЕЖКАНАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ С DMT

Пересечение современной техники связи и компьютерных технологий привело к настоящей информационной революции. Очевидно, что для высокоэффективного функционирования данных систем необходим чёткий учёт текущего состояния среды передачи данных. По мере изменения параметров канала связи необходимо осуществлять подстройку параметров системы связи с целью минимизации мощности передатчика, требуемой для поддержания заданного качества связи. Нашедшая в последнее время широкое применение технология DMT (многочастотная дискретная модуляция) позволяет не только существенно упростить реализацию соответствующего оптимизационного алгоритма, но и использовать его при анализе систем достаточно простых математических моделей.

Тем не менее проблема наличия мешающих факторов в канале всё ещё актуальна. Возможность её решения заложена в управлении параметрами приёмника, а именно в адаптивной обработке сигналов на приемной стороне.

Системы передачи с DMT используют принцип согласования гауссовского канала с межсимвольной интерференцией (МСИ) не только с приёмником, но и с самим передаваемым сигналом. Данный принцип основан на преобразовании канала в совокупность гауссовских каналов без МСИ и использовании в таких каналах специальным образом подобранных каналов с квадратурной амплитудной модуляцией (QAM) или отказа от использования данного канала. Математическая модель для гауссовского канала с МСИ описывается выражением [1]

$$\mathbf{y}^i = \mathbf{H}_0\mathbf{x}^i + \mathbf{H}_1\mathbf{x}^{i-1} + \mathbf{n}^i, \qquad (1)$$

где

$$\mathbf{H}_0 = \begin{bmatrix} h_0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \vdots \\ h_{M-1} & \dots & h_0 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & h_{M-1} & \dots & h_0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} 0 & \dots & h_{M-1} & \dots & h_1 \\ \vdots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ 0 & & 0 & & h_{M-1} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix},$$

$\mathbf{x}^i = [x_0 \dots x_{N-1}]^T$ – вектор отсчётов входного сигнала; $\mathbf{y}^i = [y_0 \dots y_{N-1}]^T$ – вектор отсчётов выходного сигнала, $\mathbf{n}^i = [n_0 \dots n_{N-1}]^T$ – вектор аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ); i – индекс момента времени Δt; M – длина весовой последовательности канала.

Из (1) видно, что сигнал на выходе канала будет представлять аддитивную смесь искаженного полезного сигнала, сигнала межсимвольной интерференции и аддитивного белого гауссовского шума.

Осуществим периодическое продолжение вектора сигнала: $\mathbf{x}^i_{N_0} = \mathbf{M}\mathbf{x}^i$, где $\mathbf{M} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{0}_{N_3\times(N-N_3)} & \mathbf{I}_{N_3} \\ \hline & \mathbf{I}_N \end{array}\right]$ – $N_0 \times N$ блочная матрица, $N_0 = N + N_3$, тогда

$$\mathbf{x}^i_{N_0} = \mathbf{M}\mathbf{x}^i = [x_{N-N3} \dots x_{N-1}x_0 \dots x_{N-1}]^T. \qquad (2)$$

В данном случае вектор выходного сигнала $\mathbf{y}^i$ будет иметь размерность $N_0 + M - 1$. Выделим на приёме N элементов, начиная с N_3:

$$\mathbf{y}^i_N = \mathbf{S}^T_{(N_0+M-1)\times N}\mathbf{y}^i_{N_0},$$

где $$\mathbf{S}^T_{N_0\times N} = \left[\mathbf{0}_{N_3\times N}\mathbf{I}_N\mathbf{0}_{(M-1)\times N}\right]. \qquad (3)$$

Тогда с учётом (2), (3) для матриц $\widetilde{\mathbf{H}}_0 = \mathbf{S}^T_{N_0\times N}\mathbf{H}_0\mathbf{M}$, $\widetilde{\mathbf{H}}_1 = \mathbf{S}^T_{N_0\times N}\mathbf{H}_0\mathbf{M}$ справедливы следующие утверждения:

$$\widetilde{\mathbf{H}}_0 = \begin{bmatrix} h_0 & \dots & 0 & h_{M-1} & \dots & h_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ h_{M-1} & & h_0 & \vdots & \ddots & h_{M-1} \\ 0 & h_{M-1} & & h_0 & & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & h_{M-1} & \dots & h_0 \end{bmatrix},$$

$$\widetilde{\mathbf{H}}_1 = \mathbf{0}_N \text{ для } N_з \geq M-1, \qquad (4)$$

$$\widetilde{\mathbf{H}}_0 = \begin{bmatrix} h_0 & 0 & \dots & h_{N_з} & \dots & h_1 \\ \vdots & \ddots & & h_{M-1} & \ddots & \vdots \\ h_{M-1} & & \ddots & & \ddots & h_{M-1} \\ 0 & \ddots & & h_0 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & h_{M-1} & \dots & h_0 \end{bmatrix},$$

$$\widetilde{\mathbf{H}}_1 = \begin{bmatrix} 0 & \dots & h_{M-1} & \dots & h_{N_з+1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & & h_{M-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \qquad (4a)$$

для $N_з < M-1$.

Матрица $\widetilde{\mathbf{H}}_0$ в выражении (4) является циркулярной $\widetilde{\mathbf{H}}_0 = \mathbf{H}_ц$, поэтому может быть представлена подобной ей диагональной матрицей собственных значений:

$$\dot{\mathbf{\Lambda}}_0 = \frac{1}{N}\mathbf{W}_N \mathbf{S}^T_{N_0 \times N}\mathbf{H}_0 \mathbf{M}\mathbf{W}_N^H = \\ = \frac{1}{N}\mathbf{W}_N \mathbf{H}_ц \mathbf{W}_N^H = \operatorname{diag}\left[\dot{\lambda}_0 \dots \dot{\lambda}_{N-1}\right], \qquad (5)$$

где $\mathbf{W}_N$ – матрица дискретного преобразования Фурье $W_{nm} = \exp(j2\pi nm/N)$; $[\,]^H$ – индекс эрмитова сопряжения.

Матрица $\widetilde{\mathbf{H}}_1$ может быть представлена $\dot{\mathbf{\Lambda}}_1$ аналогично выражению (5).

С учётом (5) выражение (1) может быть представлено в виде

$$\mathbf{y}^i = \frac{1}{N}\mathbf{W}_N^H \dot{\mathbf{\Lambda}}_0 \mathbf{W}_N \mathbf{W}_N^H \dot{\mathbf{X}}^i + \\ + \frac{1}{N}\mathbf{W}_N^H \dot{\mathbf{\Lambda}}_1 \mathbf{W}_N \mathbf{W}_N^H \dot{\mathbf{X}}^{i-1} + \frac{1}{N}\mathbf{W}_N^H \dot{\mathbf{N}}^i, \qquad (6)$$

где $\dot{\mathbf{X}}^i$, $\dot{\mathbf{X}}^{i-1}$ – комплексные кадры данных передаваемого сигнала в моменты времени i, $i-1$; $\dot{\mathbf{N}}$ – комплексный вектор АБГШ.

Умножив правую и левую часть выражения (6) на $\mathbf{W}_N$ и учитывая, что $\frac{1}{N}\mathbf{W}_N^H \mathbf{W}_N = \mathbf{I}_N$, приходим к выражению

$$\dot{\mathbf{Y}}^i = \dot{\mathbf{\Lambda}}_0 \dot{\mathbf{X}}^i + \dot{\mathbf{\Lambda}}_1 \dot{\mathbf{X}}^{i-1} + \dot{\mathbf{N}}^i, \qquad (7)$$

где $\dot{\mathbf{Y}}^i$ – комплексный кадр данных принимаемого сигнала.

Выражения (1), (6) – математическая модель канала во временной области, в то время как (7) – модель канала передачи многочастотных дискретных сигналов в частотной области [2]. В случае (4) матрица $\dot{\mathbf{\Lambda}}_1$ нулевая. Тогда условием для восстановления вектора сообщения становится следующее требование к весовым коэффициентам эквалайзера:

$$\dot{K}_n = \dot{\lambda}^{-1}_{mn}, \quad n \in [0 \dots N-1]. \qquad (8)$$

В случае (4а) матрица $\dot{\mathbf{\Lambda}}_1 \neq 0$, а матрица $\dot{\mathbf{\Lambda}}_0$ не является диагональной. В итоге QAM сигнал каждого из N каналов $\dot{Y}^i_n$ определяется суммой искаженного полезного QAM сигнала, сигнала предыдущего момента времени (МСИ) и сигналов межканальной интерференции первого (МКИ-1) и второго рода (МКИ-2), определяемых передачей энергии с оставшихся N–1 каналов в текущий (МКИ-1) и предыдущий (МКИ-2) моменты времени. Условие восстановления исходного комплексного кадра данных $\dot{\mathbf{X}}^i$ (8) не выполняется, и количество весовых коэффициентов эквалайзера, при которых возможна коррекция МСИ и МКИ, возрастает пропорционально N^2. Очевидно, что при $N >> 1$ объёмы вычислений в процессе цифровой обработки становятся чрезвычайно большими. Уменьшить количество операций умножения и сложения возможно, реализуя эквалайзер с учётом правил формирования комплексного кадра данных. Известно, что в процессе передачи дискретных многочастотных символов на K несущих частотах информация не передаётся. Таким образом, достаточно осуществить коррекцию $M = N - K$ несущих с целью устранения МСИ и МКИ [3].

Составим матрицу $\mathbf{S}_1 = \operatorname{diag}[S_0 \dots S_{N-1}]$, где $S_n = 1$, если несущая частота используется для передачи данных, $S_n = 0$, если несущая не используется. В таком случае выражение (8) может быть записано как

$$\mathbf{S}_1^T \dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\left[\widetilde{\mathbf{H}}_0 \quad \widetilde{\mathbf{H}}_1\right]\mathbf{W}^H \mathbf{S}_1 / N = \mathbf{S}_1^T \left[\mathbf{0}_N \quad \mathbf{I}_N\right]\mathbf{S}_1. \qquad (9)$$

Отбрасывание нулевых строк и столбцов в обеих частях (9) позволяет прийти к выражению

$$(\mathbf{S}_1')^T \dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\left[\widetilde{\mathbf{H}}_0 \quad \widetilde{\mathbf{H}}_1\right]\mathbf{W}^H \mathbf{S}_1' / N = \\ = (\mathbf{S}_1')^T \dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\widetilde{\mathbf{H}}\mathbf{W}^H \mathbf{S}_1' / N = \left[\mathbf{0}_{N-K} \quad \mathbf{I}_{N-K}\right], \qquad (10)$$

где $\mathbf{S}_1'$ – матрица, получаемая из матрицы $\mathbf{S}_1$ путём отбрасывания нулевых столбцов.

Представим $\widetilde{\mathbf{H}}$ в (10) в виде суммы двух матриц: $\widetilde{\mathbf{H}} = \mathbf{H}_{\text{ц}} + \mathbf{H}_{\text{ош}}$, где $\mathbf{H}_{\text{ц}} = \left[\mathbf{0}_N \quad \widetilde{\mathbf{H}}_1 + \widetilde{\mathbf{H}}_0\mathbf{T}\right]$ – циркулярная матрица канала; $\mathbf{H}'_{\text{ош}} = \left[\widetilde{\mathbf{H}}_0 \quad -\widetilde{\mathbf{H}}_0\mathbf{T}\right]$ – матрица ошибки; $\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{M\times(N-M)} & \mathbf{I}_M \\ \mathbf{I}_{N-M} & \mathbf{0}_{(N-M)\times M} \end{bmatrix}$ – матрица перестановки.

Подставляя $\mathbf{H}_{\text{ц}}$ и $\mathbf{H}_{\text{ош}}$ в (10) и раскладывая выражение на составляющие, получаем:

$$(\mathbf{S}'_1)^T \dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\left(\widetilde{\mathbf{H}}_1 + \widetilde{\mathbf{H}}_0\mathbf{T}\right)\mathbf{W}^H\mathbf{S}'_1 / N = \mathbf{I}_{N-K}, \quad (11)$$

$$\pm (\mathbf{S}'_1)^T \dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\widetilde{\mathbf{H}}_0\mathbf{W}^H\mathbf{S}'_1 / N = \mathbf{0}_{N-K}. \quad (12)$$

Так как $\widetilde{\mathbf{H}}_1 + \widetilde{\mathbf{H}}_0\mathbf{T} = \mathbf{H}_{\text{ц}}$, $\mathbf{W}\left(\widetilde{\mathbf{H}}_1 + \widetilde{\mathbf{H}}_0\mathbf{T}\right)\mathbf{W}^H / N = \dot{\mathbf{\Lambda}}$.

Следующим этапом формирования матрицы весовых коэффициентов фильтра-корректора будет представление матрицы весовых коэффициентов $\dot{\mathbf{K}}$ в виде суммы

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{K}} = \dot{\mathbf{K}}\mathbf{I}_N = \dot{\mathbf{K}}\left(\mathbf{S}_0 + \mathbf{S}_1\right) = \dot{\mathbf{K}}\mathbf{S}_0 + \dot{\mathbf{K}}\mathbf{S}_1 = \dot{\mathbf{K}}_0 + \dot{\mathbf{K}}_1 = \\ = \mathbf{S}'_1\dot{\mathbf{K}}'_0\left(\mathbf{S}'_0\right)^T + \mathbf{S}'_1\dot{\mathbf{K}}'_1\left(\mathbf{S}'_1\right)^T,\end{aligned} \quad (13)$$

где $\mathbf{S}_0 = \mathbf{I}_N - \mathbf{S}_1$ – матрица выделения неиспользуемых несущих частот; $\mathbf{S}'_0$ – матрица, получаемая из матрицы $\mathbf{S}_0$ путём отбрасывания нулевых столбцов; $\dot{\mathbf{K}}'_0$, $\dot{\mathbf{K}}'_1$ – матрицы, получаемые из матриц $\dot{\mathbf{K}}_0$ и $\dot{\mathbf{K}}_1$ путём отбрасывания нулевых столбцов и строк. Матрицы $\dot{\mathbf{K}}_0$ и $\dot{\mathbf{K}}_1$ в (13) являются матрицами весовых коэффициентов эквалайзера для неиспользуемых и используемых несущих частот соответственно. Подстановка (13) в (11) даёт:

$$\dot{\mathbf{K}}'_0\left(\mathbf{S}'_0\right)^T\dot{\mathbf{\Lambda}}\mathbf{S}'_1 + \dot{\mathbf{K}}'_1\left(\mathbf{S}'_1\right)^T\dot{\mathbf{\Lambda}}\mathbf{S}'_1 = \mathbf{0} + \dot{\mathbf{K}}'_1\dot{\mathbf{\Lambda}}' = \mathbf{I}_{N-K}, \quad (14)$$

где $\dot{\mathbf{\Lambda}}'$ – матрица, получаемая путём отбрасывания нулевых столбцов и строк в матрице $\dot{\mathbf{\Lambda}}$.

Решение выражения (14) не зависит от матрицы $\dot{\mathbf{K}}'_0$ и находится при

$$\dot{\mathbf{K}}'_1 = \left(\left(\mathbf{S}'_1\right)^T\dot{\mathbf{\Lambda}}\mathbf{S}'_1\right)^{-1} = \left(\dot{\mathbf{\Lambda}}'\right)^{-1}. \quad (15)$$

Нахождение матрицы $\dot{\mathbf{K}}'_0$ осуществляется путём решения (14). Достаточным условием для решения этих уравнений становится

$$(\mathbf{S}'_1)^T\dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\widetilde{\mathbf{H}}_0 = \mathbf{0}_{(N-K)\times N}. \quad (16)$$

Так как $\widetilde{\mathbf{H}}_0$ – верхняя треугольная матрица, достаточно, чтобы $(\mathbf{S}'_1)^T\dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}$ удовлетворяло условию

$$\begin{aligned}(\mathbf{S}'_1)^T\dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\begin{bmatrix} \mathbf{I}_{M-N_3-1} \\ \mathbf{0}_{(N-(M-N_3-1))\times(M-N_3-1)} \end{bmatrix} = \\ = (\mathbf{S}'_1)^T\dot{\mathbf{K}}\mathbf{W}\mathbf{P} = \mathbf{0}_{(N-K)\times(M-N_3-1)}.\end{aligned} \quad (17)$$

Подставляя (13) в (17), получаем:

$$\dot{\mathbf{K}}'_0(\mathbf{S}'_0)^T\mathbf{W}\mathbf{P} = -\dot{\mathbf{K}}'_1(\mathbf{S}'_1)^T\mathbf{W}\mathbf{P}, \quad (18)$$

где $\mathbf{W}\mathbf{P} = \mathbf{W}_0$, тогда путём представления матрицы $\dot{\mathbf{K}}$ в виде суммы $\dot{\mathbf{K}} = \dot{\mathbf{K}}_0 + \dot{\mathbf{K}}_1$ можно прийти к выражению

$$\dot{\mathbf{K}}'_0(\mathbf{S}'_0)^T\mathbf{W}_0 = -\dot{\mathbf{K}}'_1(\mathbf{S}'_1)^T\mathbf{W}_0. \quad (18a)$$

Исходя из выражения (18а) матрица $\dot{\mathbf{K}}'_0$ находится как

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{K}}'_0 = -\dot{\mathbf{K}}'_1(\mathbf{S}'_1)^T\mathbf{W}_0\left((\mathbf{S}'_0)^T\mathbf{W}_0\right)^{-1} = \\ = -\left(\dot{\mathbf{\Lambda}}'\right)^{-1}(\mathbf{S}'_1)^T\mathbf{W}_0\left((\mathbf{S}'_0)^T\mathbf{W}_0\right)^{-1}.\end{aligned} \quad (19)$$

Матрица весовых коэффициентов фильтра-корректора

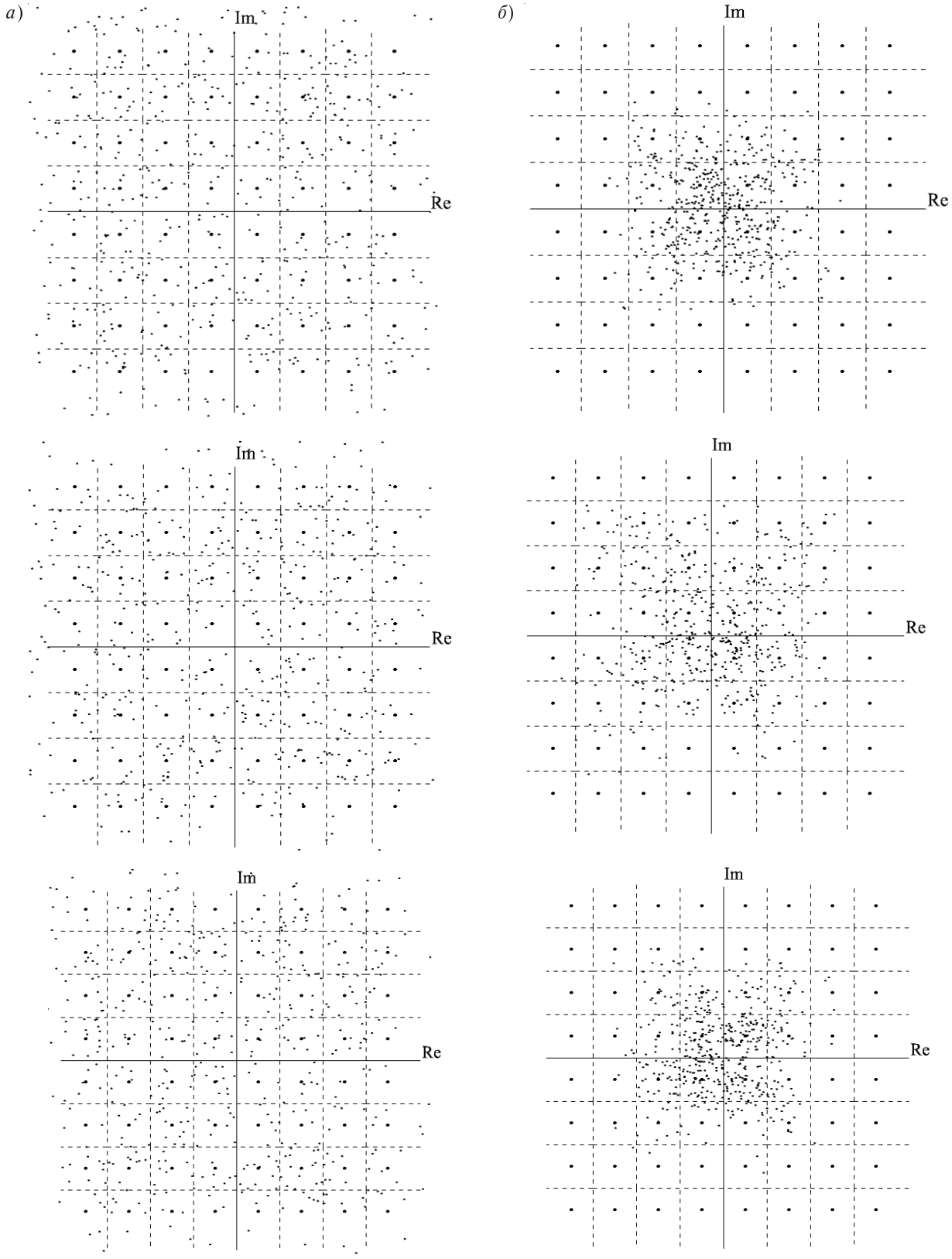
$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{K}} = \mathbf{S}'_1\dot{\mathbf{K}}'_0\left(\mathbf{S}'_0\right)^T + \mathbf{S}'_1\dot{\mathbf{K}}'_1\left(\mathbf{S}'_1\right)^T = \\ = \mathbf{S}'_1\left(\dot{\mathbf{\Lambda}}'\right)^{-1}\left(\left(\mathbf{S}'_1\right)^T - (\mathbf{S}'_1)^T\mathbf{W}_0\left((\mathbf{S}'_0)^T\mathbf{W}_0\right)^{-1}\left(\mathbf{S}'_0\right)^T\right).\end{aligned} \quad (20)$$

Получаемая в (20) матрица имеет ненулевые значения только на главной диагонали в строках используемых несущих частот и в вектор-столбцах неиспользуемых несущих, что значительно уменьшает объём вычислений. Выигрыш тем заметнее, чем больше используется несущих.

Адаптивный алгоритм настройки элементов матрицы коррекции $\dot{\mathbf{K}}_1$ осуществляется из условия минимизации среднеквадратической ошибки; при большом соотношении сигнал/шум он совпадает с алгоритмом, максимизирующим апостериорную плотность вероятностей. Введём вектор $\overline{\dot{\mathbf{K}}}_1$ весовых коэффициентов фильтра, соответствующих элементам матрицы $\dot{\mathbf{K}}_1$. Он определяется выражением

$$\overline{\dot{\mathbf{K}}}_1^{i+1} = \overline{\dot{\mathbf{K}}}_1^{i} + \mu\dot{\mathbf{E}}^i\left(\dot{\mathbf{X}}^i\right)^*, \quad (21)$$

где μ – коэффициент адаптации, $\dot{\mathbf{E}}^i = \text{diag}\left\{\dot{X}_0^i - \hat{\dot{X}}_0^i \ldots \dot{X}_{N-1}^i - \hat{\dot{X}}_{N-1}^i\right\}$ – диагональная матрица ошибок оценивания; $\hat{\dot{X}}_n^i = \overline{\dot{\mathbf{K}}}_n\dot{\mathbf{Y}}^i$ – оценка сигнала на n-м выходе адаптивного эквалайзера; $\overline{\dot{\mathbf{K}}}_n$ – n-й вектор-строка матрицы $\dot{\mathbf{K}}$.



Векторограммы QAM-сигналов при наличии (*а*) и отсутствии (*б*) предварительной настройки весовых коэффициентов эквалайзера в моменты времени $1\Delta t - 500\Delta t$

Настройка элементов матрицы $\dot{\mathbf{K}}_0$ на каждом тактовом интервале i осуществляется в соответствии с формулой (19).

Уменьшение времени настройки эквалайзера возможно при осуществлении предварительного оценивания параметров неизвестного канала. При этом оценивание параметров должно отвечать требованиям малой сложности цифровой обработки и достаточной степени точности оценивания.

Учитывая свойство матриц комплексных собственных значений канала связи: $\dot{\lambda}_{nn} >> \dot{\lambda}_{nk}$, $n, k = 1...N-1$, $n \neq k$ в процессе предварительной настройки можно пренебречь коэффициентами $\dot{\lambda}_{nk}$ в силу их малости. Тогда элементы комплексного кадра данных на приёмной стороне можно разложить на вещественную и мнимую составляющие:

$$\begin{aligned}\mathrm{Re}\{\dot{Y}_n^i\} &= \mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\}\mathrm{Re}\{\dot{\lambda}_{nn}\} - \mathrm{Im}\{\dot{X}_n^i\}\mathrm{Im}\{\dot{\lambda}_{nn}\} \\ \mathrm{Im}\{\dot{Y}_n^i\} &= \mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\}\mathrm{Im}\{\dot{\lambda}_{nn}\} + \mathrm{Im}\{\dot{X}_n^i\}\mathrm{Re}\{\dot{\lambda}_{nn}\}\end{aligned}. \quad (23)$$

Алгоритм обнаружения параметров неизвестного канала основывается на формировании тестовой последовательности. Формируя на передаче комплексный кадр данных таким образом, что $\mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\} = \mathrm{Im}\{\dot{X}_n^i\}$, находим, оценку параметров неизвестного канала:

$$\begin{aligned}\mathrm{Re}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\} &\cong \left(\mathrm{Re}\{\dot{Y}_n^i\}/\mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\} + \mathrm{Im}\{\dot{Y}_n^i\}/\mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\}\right)/2 \\ \mathrm{Im}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\} &\cong \left(\mathrm{Im}\{\dot{Y}_n^i\}/\mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\} - \mathrm{Re}\{\dot{Y}_n^i\}/\mathrm{Re}\{\dot{X}_n^i\}\right)/2\end{aligned}. \quad (24)$$

Поступающий в приёмное устройство АБГШ обладает свойствами $M\{\dot{\mathbf{N}}^i\} = \mathbf{0}$, $M\{\dot{\mathbf{N}}^i(\dot{\mathbf{N}}^i)^T\} = \sigma^2\mathbf{I}_N$, где $M\{\}$ – символ статистического усреднения. Таким образом, просуммировав и усреднив N_1 значений параметров неизвестного канала по каждому каналу, в силу закона больших чисел получим, что величины АБГШ могут сходиться к нулю [4].

Весовые коэффициенты $\dot{\mathbf{K}}_1$ должны удовлетворять выражению (17), тогда предварительная грубая настройка весовых коэффициентов $\dot{\mathbf{K}}_1$ для каждого канала осуществляется в соответствии с алгоритмом:

$$\begin{aligned}\mathrm{Re}\{\dot{K}_{nn}\} &\cong \frac{\mathrm{Re}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\}}{\left(\mathrm{Re}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\}\right)^2 + \left(\mathrm{Im}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\}\right)^2}, \\ \mathrm{Im}\{\dot{K}_{nn}\} &\cong \frac{-\mathrm{Im}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\}}{\left(\mathrm{Re}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\}\right)^2 + \left(\mathrm{Im}\{\hat{\dot{\lambda}}_{nn}\}\right)^2}.\end{aligned} \quad (25)$$

После чего можно перейти к обработке сигнала в соответствии с (21).

Из векторограмм QAM сигналов на рис. *а*, *б* для 1, 15 и 31-го выходов эквалайзера видно, что при использовании алгоритма (23) – (25) (рис. *а*) сигналы на более ранних этапах оценивания будут более приближены к исходным значениям, чем сигналы, когда алгоритм (23) – (25) не используется (рис. *б*).

Синтезирован алгоритм оптимальной адаптивной обработки сигналов DMT в многоканальном приёмнике, отвечающий требованиям малой вычислительной сложности. Разработан алгоритм формирования тестовой последовательности, позволяющий значительно ускорить процедуру поиска оптимальных параметров адаптивного эквалайзера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **John A.C. Bingham.** ADSL, VDSL and Multcarrier Modulation. NY: John Wiley and Sons Ltd. 2000.

2. **Зяблов В.В., Коробков Д.Л., Портной С.Л.** Высокоскоростная передача сообщений в реальных каналах. М.: Радио и связь. 1991.

3. **Trautmann S., Fliege N.J.** Perfect equalization for DMT systems without guard interval // IEEE Journal on Selected Areas of Communications. June 2002. Vol. 20. № 5. P. 987–996.

4. **Граничин О.Н.** Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания. Учеб.пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2003.

УДК 621.39

И.Л. Бузюкова

МОДЕЛЬ СИГНАЛЬНОГО ТРАФИКА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ НА ПРИМЕРЕ УСЛУГИ “БЕСПЛАТНЫЙ ВЫЗОВ”

Для операторов связи, предоставляющих услуги интеллектуальной сети связи (ИСС), большое значение имеет вопрос обеспечения заданного качества и уровня обслуживания. Один из таких параметров – время установления соединения при использовании интеллектуальной услуги. Необходимость анализа данного параметра была выявлена в ходе исследования, проведенного в работе [1], где изучались различные конфигурации российской ИСС с точки зрения объёмов требуемого сигнального оборудования.

Среднее значение времени установления соединения для услуг интеллектуальной сети связи оценивалось в работах [2–4]. На их основе был разработан инженерный метод расчёта задержек, изложенный в статье К.Е. Самуйлова, Ю.И. Филюшина [2]. В ходе построения модели сигнального трафика для сетей IMS (IP Multimedia Subsystem) в [5] была выявлена возможность использования теории сетей BCMP[1] для анализа показателей качества функционирования протокола SIP (Session Initiation Protocol) и для расчёта среднего времени установления соединения.

Цель данной статьи заключается в разработке математической модели сигнального трафика в ИСС для оценки задержек, возникающих в процессе установления соединения. Построение и анализ модели, а также непосредственные расчёты осуществляются на примере услуги Freephone (FPH, бесплатный вызов).

В ходе исследования частично используется методика, представленная в [2], – определение сценария установления соединения, а также анализ взаимодействия узлов ИСС, задействованных в данном процессе. Однако математическая модель ИСС строится в виде сети BCMP, описывающей процесс установления соединения для случая надежного канала связи. В конце статьи приводятся результаты расчётов среднего времени установления соединения для услуги Freephone на основе исходных данных, приближенных к реальным.

Построение функциональной модели процесса установления соединения в ИСС

Рассмотрим вначале процесс обмена сигнальными сообщениями при обслуживании вызова выбранной в качестве примера услуги Freephone. В ходе установления соединения для интеллектуальной услуги в общем случае происходит взаимодействие следующих узлов ОКС № 7: двух пунктов сигнализации SP_A и SP_B (Signaling Point), транзитного узла сигнализации STP (Signaling Transfer Point), узла коммутации услуг SSP (Service Switching Point) и узла управления услугами SCP (Service Control Point).

На диаграмме (рис. 1) показаны те сообщения ОКС № 7, которые влияют на общее суммарное время установления соединения в нормальных условиях функционирования сети. Детальное описание процедуры и сигнальных сообщений, которыми обмениваются узлы ИСС и пункты сигнализации, приведено в [7, 8].

Отмеченный на диаграмме узел SCP представляет собой узел управления услугами SCP вместе с интегрированным узлом базы данных услуг SDP (Service Data Point). Для большей наглядности звенья сети ОКС № 7, по которым происходит передача сообщений между узлами, на данной схеме не изображены.

В ходе проводимого анализа будем учитывать последовательность обработки сигнальных сообщений различными подсистемами ОКС № 7 в каждом из представленных выше узлов. Следует отметить, что время обработки запроса в базе данных узла SDP является одной из составляющих времени обработки запроса в узле SCP и учитывается путём добавления константы.

[1] Аббревиатура BCMP состоит из первых букв фамилий авторов [6].

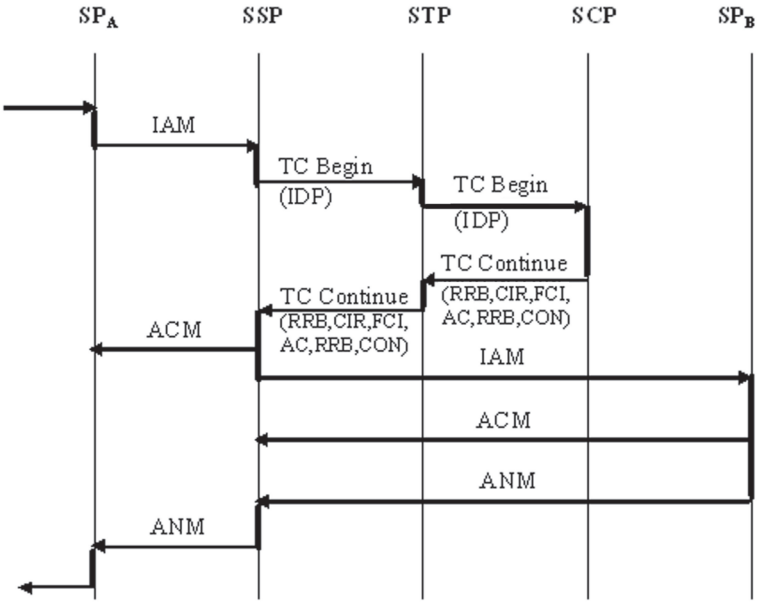


Рис. 1. Процедура обмена сообщениями
при установлении соединения для услуги Freephone

Построение аналитической модели сети ИСС

Моделью процесса установления соединения для услуги Freephone может служить открытая неоднородная сеть массового обслуживания (CeMO) с несколькими классами заявок, которую принято обозначать как сеть BCMP [6, 9]. Сеть состоит из конечного множества узлов (рис. 2), которые моделируют приём, обработку и переда-

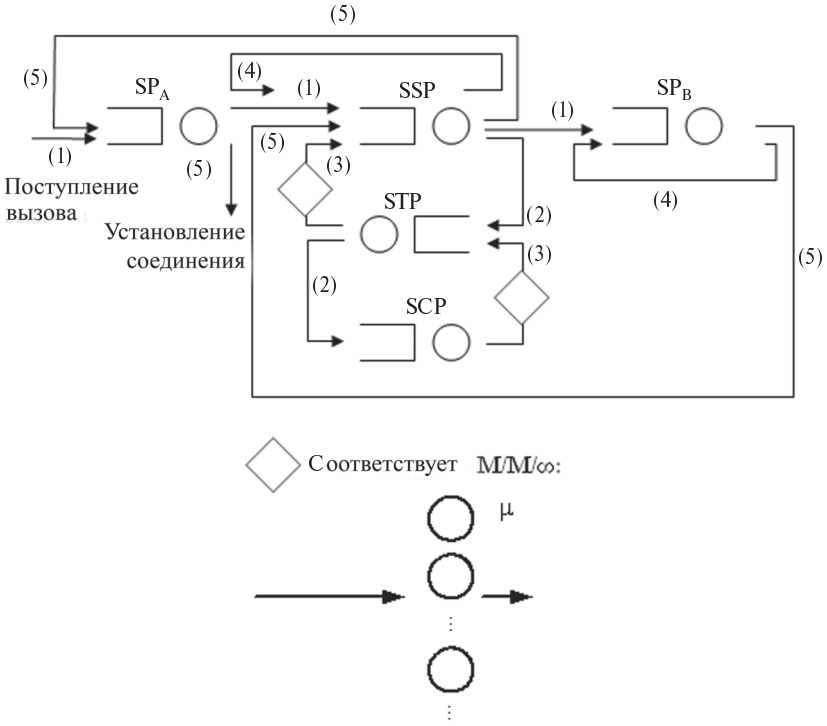


Рис. 2. Модель процесса установления соединения
в виде неоднородной CeMO с несколькими классами заявок

чу сообщений в сеть в узлах ИСС. Ромбы на схеме CeMO моделируют передачу сообщений по каналу связи. Чтобы не перегружать рисунок, ромбы добавлены только после двух узлов, но следует иметь в виду, что они присутствуют после каждого узла.

Из внешней среды на сеть поступает пуассоновский поток заявок интенсивности λ_{FPH}. Заявка в сети моделирует сообщения, поступающие на узлы ИСС. Каждой заявке присвоен класс, который заявка может менять при переходе из одного узла в другой.

Обозначим заявку класса $r \in R$, находящуюся в узле $i \in M$, как (i, r)-заявку. Множество всех типов заявок, обслуживаемых в сети, может быть обозначено как $L = \{(i, r) : i \in M, r \in R\}$. Классы BCMP-заявок, используемых при построении модели установления соединения для услуги FPH, выглядят следующим образом: IAM – (1), TC Begin – (2), TC Continue – (3), ACM – (4), ANM – (5). Для обозначения узлов сети будут использоваться следующие номера: SP_A – 1, SSP – 2, STP – 3, SCP – 4, SP_B – 5.

Определим модели узлов представленной выше CeMO. Пусть каждый из узлов данной CeMO принадлежит одному из двух описанных ниже типов узлов сети BCMP [9]. Будем рассматривать экспоненциальную CeMO, т. е. сеть, в которой функции распределения длительности обслуживания в узлах экспоненциальные, а входящие потоки – пуассоновские.

Узел первого типа может быть описан однолинейной СМО с бесконечным накопителем, обслуживание осуществляется в соответствии с дисциплиной FCFS (First Come, First Served). Длительность обслуживания заявок всех классов в узле i имеет одно и то же экспоненциальное распределение с интенсивностью μ_i, $i = \overline{1,5}$. Узлы первого типа будем использовать для моделирования узлов SP, STP, SSP и SCP.

Узел второго типа представляет собой многолинейную СМО с бесконечным числом обслуживающих приборов. Узлы второго типа будем использовать для моделирования передачи сообщений по звену данных сигнализации. Узлы второго типа соответствуют ромбам, изображенным на схеме CeMO (см. рис. 2).

В целом рассмотренная модель CeMO состоит из 13 узлов – пяти узлов первого типа и восьми узлов второго типа.

Среднее время установления соединения для услуги Freephone можно определить следующим образом:

$$T_{\text{FPH}}^{(1)} = \frac{\bar{q}}{\lambda_{\text{FPH}}}, \qquad (1)$$

где $\bar{q}$ – средняя длина очереди в системе.

Среднюю длину очереди $\bar{q}_i$ в узле i можно вычислить по формуле

$$\bar{q}_i = \frac{\rho_i}{1-\rho_i} = \frac{\lambda_i T_i^{(1)}}{1-\lambda_i T_i^{(1)}}, \qquad (2)$$

где ρ_i – сигнальная нагрузка в узле i, $i=\overline{1,13}$; λ_i – интенсивность потока заявок, поступающего на узел i, $i=\overline{1,13}$.

Заметим, что $\lambda_i = \lambda_{FPH}$, $i=\overline{6,13}$, т. е. для узлов второго типа данная величина совпадает с интенсивностью поступающего на сеть потока λ_{FPH}.

С учётом количества узлов первого и второго типа в CeMO может быть вычислена средняя длина очереди в системе:

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^{13} \bar{q}_i = \sum_{i=1}^{5} \frac{\lambda_i T_i^{(1)}}{1-\lambda_i T_i^{(1)}} + 8\frac{\lambda_{\text{FPH}} T_p^{(1)}}{1-\lambda_{\text{FPH}} T_p^{(1)}}, \qquad (3)$$

где $T_i^{(1)}$ – среднее время обслуживания заявки в узле i первого типа; $T_p^{(1)}$ – среднее время обслуживания заявки в узле второго типа.

Таким образом, для того чтобы вычислить величину $T_{FPH}^{(1)}$, необходимо определить среднее время обслуживания и среднюю длину очереди в узлах первого и второго типа.

Анализ узлов сети BCMP

Перейдем к анализу узлов сети BCMP. Построим для начала обобщённую математическую модель узла i первого типа, $i = \overline{1,5}$, в виде СМО с бесконечной очередью типа M/M/1.

Время обслуживания T_i заявки класса i на системе M/M/1/∞ соответствует суммарному времени обработки сообщения в i-м узле. Последняя величина складывается из времени обработки сигнальных сообщений на уровнях 2 и 3 подсистемы MTP (Message Transfer Part), времени обработки сообщения различными подсистемами ОКС № 7 и времени передачи сигнального сообщения на уровне 2 подсистемы MTP ($T_{od\,i}$) [10], где od – outgoing delay.

Математическое ожидание $T_i^{(1)}$ времени обслуживания в узле i определяется по формуле

$$T_i^{(1)} = T_{1\,i}^{(1)} + T_{od\,i}^{(1)}, \qquad (4)$$

где $T_{1\,i}^{(1)}$ – сумма математических ожиданий всех перечисленных выше интервалов времени, кроме времени передачи сигнального сообщения на уровне MTP2.

Время передачи сигнального сообщения $T_{od\,i}$ на уровне 2 подсистемы MTP узла i, включающее задержки в очереди на передачу, может быть оценено с помощью СМО вида M/G/1 с бункером [8]. Данная система состоит из одного обслуживающего прибора, накопителя неограниченной ёмкости и бункера с неограниченным запасом заявок, соответствующих заполняющим сигнальным единицам (ЗСЕ). Поступление ЗСЕ-заявок на обслуживающий прибор происходит только в том случае, если в момент окончания обслуживания заявки любого типа в системе нет заявок, соответствующих ЗнСЕ.

Функция распределения $B(x)$ описывает процесс обслуживания ЗнСЕ, а функция распределения $F(x)$ – процесс обслуживания ЗСЕ. В модели с бункером сообщениям, рассматриваемым в модели сети ВСМР, соответствуют ЗнСЕ; сообщения ЗСЕ представляют собой пакеты постоянной длины (6 байт), обеспечивающие синхронизацию.

Время пребывания заявки в этой системе T_{od} состоит из задержки в очереди на передачу и времени передачи сигнального сообщения в канал. Среднее значение данной величины определяется согласно [8] следующим образом:

$$T_{od}^{(1)} = T_m + \frac{1}{2}\left(T_f + \frac{a}{1-a}k_1 T_m\right), \qquad (5)$$

где a – сигнальная нагрузка на уровне звена сигнализации (ЗС) подсистемы MTP; T_f – среднее время передачи ЗСЕ; T_m – среднее время передачи ЗнСЕ; k_1 – 1-й момент распределения времени передачи ЗнСЕ.

Сигнальная нагрузка a может быть оценена по формуле

$$a = \frac{\lambda \cdot 8 \cdot L^{(1)}}{64000 \cdot 3600} = \frac{\lambda L^{(1)}}{8000 \cdot 3600}, \qquad (6)$$

где $\lambda = \lambda_{FPH}$ ЗнСЕ /ч – интенсивность поступления ЗнСЕ на ЗС; 64000 бит/с – скорость передачи данных; $L^{(1)}$ – средняя длина ЗнСЕ в байтах.

Средние времена T_m и T_f передачи ЗнСЕ и ЗСЕ в канал связи можно вычислить как отношение средней длины сообщения к скорости передачи.

Заметим, что в узлах обслуживаются заявки (сообщения) различных классов, имеющие разные длины, поэтому величина среднего времени передачи ЗнСЕ в канал связи T_{mi} для каждого узла i будет различной, так же как и величина $T^{(1)}_{od\,i}$.

Таким образом, с использованием формул (2) и (4)–(6) определим величины $\bar{q}_i$ для каждого узла первого типа.

В узле 1 (SP_A) обслуживаются заявки классов 1 и 5, так как пункт сигнализации А отправляет сообщения IAM и ANM. Следовательно, интенсивность λ_1 поступающего на узел 1 потока определяется по формуле $\lambda_1 = \lambda_{1,1} + \lambda_{1,5}$, а средняя длина очереди в узле 1 определяется по формуле (2) следующим образом:

$$\bar{q}_1 = \frac{(\lambda_{1,1} + \lambda_{1,5})T_1^{(1)}}{1-(\lambda_{1,1} + \lambda_{1,5})T_1^{(1)}}.$$

Аналогично по формуле (2) определим выражения для расчёта средней длины очереди в остальных узлах СеМО.

Для узла 5 (SPB), в котором обслуживаются заявки класса 4 и 5 (т. е. сообщения ACM и ANM), средняя длина очереди вычисляется по формуле

$$\bar{q}_5 = \frac{(\lambda_{5,4} + \lambda_{5,5})T_5^{(1)}}{1-(\lambda_{5,4} + \lambda_{5,5})T_5^{(1)}};$$

для узла 2 (SSP)

$$\bar{q}_2 = \frac{(\lambda_{2,1} + \lambda_{2,2} + \lambda_{2,4} + \lambda_{2,5})T_2^{(1)}}{1-(\lambda_{2,1} + \lambda_{2,2} + \lambda_{2,4} + \lambda_{2,5})T_2^{(1)}};$$

для узла 3 (STP)

$$\bar{q}_3 = \frac{(\lambda_{3,2} + \lambda_{3,3})T_3^{(1)}}{1-(\lambda_{3,2} + \lambda_{3,3})T_3^{(1)}}.$$

Для узла 4 (SCP) время $T_4^{(1)}$ обслуживания заявки в узле 4 включает в себя время обработки запроса в базе данных. Величина $\bar{q}_4$ определяется по формуле

$$\bar{q}_4 = \frac{\lambda_{4,3}T_4^{(1)}}{1-\lambda_{4,3}T_4^{(1)}}.$$

Время пребывания заявки в узле ВСМР второго типа T_p соответствует времени передачи сообщения по звену данных сигнализации. Оно зависит от расстояния между соответствующими узлами ИСС и скорости распространения сигнала в физической среде.

Средняя длина очереди в узле второго типа $\overline{q_p}$ определяется через среднее время обслуживания заявки в данном узле $T_p^{(1)}$ следующим образом:

$$\overline{q}_p = \frac{\lambda_{\text{FPH}}\, T_p^{(1)}}{1-\lambda_{\text{FPH}}\, T_p^{(1)}}.$$

Таким образом, формула (3) для среднего времени установления соединения для услуги Freephone примет вид

$$T_{\text{FPH}}^{(1)} = \frac{\overline{q_1}+\overline{q_2}+\overline{q_3}+\overline{q_4}+\overline{q_5}}{\lambda_{\text{FPH}}} + 8\frac{\overline{q_p}}{\lambda_{\text{FPH}}}. \qquad (7)$$

Численный анализ

Для анализа времени установления соединения услуги Freephone были выбраны данные, приближенные к реальным. Так, объёмы сигнальной информации, пересылаемые в ходе предоставления услуги, определялись на основе данных по реализации услуги Freephone одним из российских междугородных операторов связи.

В ходе вычислений использовались следующие исходные данные:

интенсивность λ_{FPH} вызовов услуги Freephone – 2500 вызовов/ч;

время обращения узла SCP к базе данных SDP – порядка 1 мс;

время передачи сигнального сообщения $T_p^{(1)}$ – 40 мс (при условии передачи сообщения по волоконно-оптической линии связи).

На рис. 3 показана зависимость времени установления соединения для услуги Freephone от интенсивности вызовов этой услуги, меняющейся в диапазоне от 250 до 3000 вызовов/ч. Верхнее значение интенсивности (3000 вызовов/ч) соответствует реальному значению этой характеристики в часы наибольшей нагрузки.

Заметим, что передача сигнальной информации между узлами ИСС может происходить не только по протоколу ОКС № 7 через узлы STP, но и с помощью других протоколов (например, Sigtran) через IP-сеть. В случае передачи сообщений по IP-сети соответствующая величина $T_p^{(1)}$ времени передачи сигнального сообщения между узлами находится в диапазоне 0,5–100 мс.

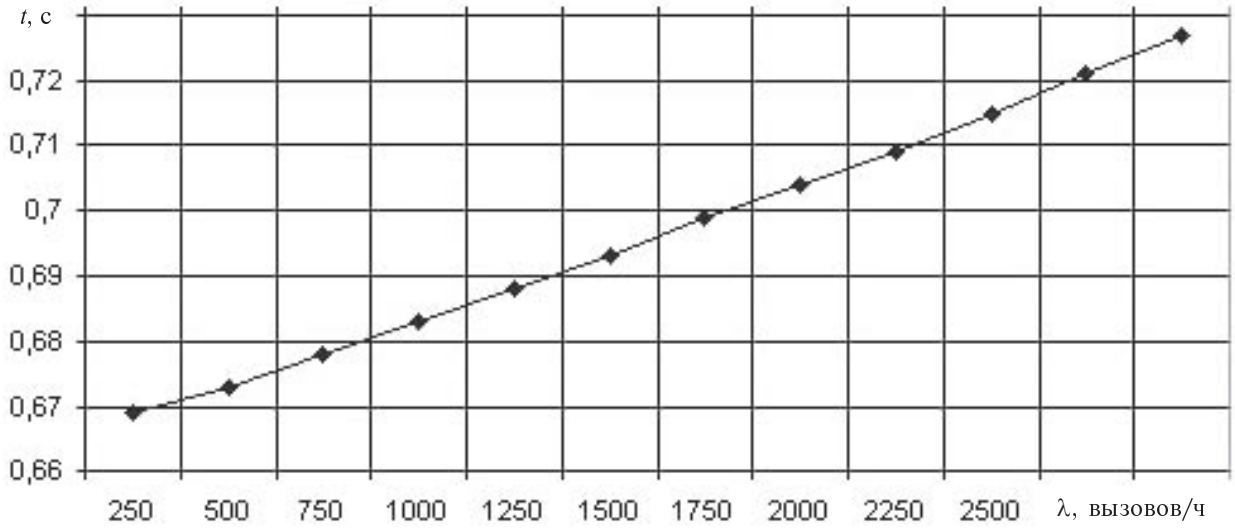


Рис. 3. Время установления соединения для услуги Freephone (сеть ОКС № 7)

Гистограммы рис. 4 иллюстрируют зависимость среднего времени установления соединения от времени передачи сообщений через IP-сеть. Расчёты проведены для $\lambda_{FPH} = 2500$ вызовов/ч. Также на рис. 4 показана доля данного времени передачи по отношению к времени обработки сообщения в узлах ИСС. Согласно процедуре установления соединения заявки проходят два раза через узлы SP_A и SP_B, четыре раза – через узел SSP и один раз проходят через узел SCP. Данный факт учитывается в процессе построения графика. Кроме того, в связи с изменением сети передачи данных время прохождения заявок через узел STP в расчет не берется.

Из рис. 4 видно, что время передачи сообщений через IP-сеть линейно влияет на общее время установления соединения и может составлять до 65 % от величины $T^{(1)}_{FPH}$ (случай $T_p^{(1)} = 0{,}1$ с). По сравнению с результатом, полученным в случае обмена сообщениями по сети ОКС 7, можно отметить уменьшение среднего времени $T^{(1)}_{FPH}$ до 400 мс.

Таким образом, в статье была проанализирована модель сигнального трафика в ИСС на основе математической модели открытой экспоненциальной сети BCMP и проведена оценка времени установления соединения для услуги Freephone. В ходе произведённых вычислений было получено, что задержка установления соединения составляет от 300 до 700 мс в зависимости от интенсивности поступающих вызовов и используемой сети передачи данных. Кроме того, было выявлено, что в случае увеличения времени передачи сигнального сообщения между узлами данная величина суммарно составляет основную часть задержки установления соединения.

Разработанный метод может быть взят за основу при оценке задержек, возникающих в процессе установления соединения, для других интеллектуальных услуг. В этом случае необходимо отдельно для каждой услуги учитывать детали процедуры установления соединения и строить соответствующую математическую модель в виде сети BCMP.

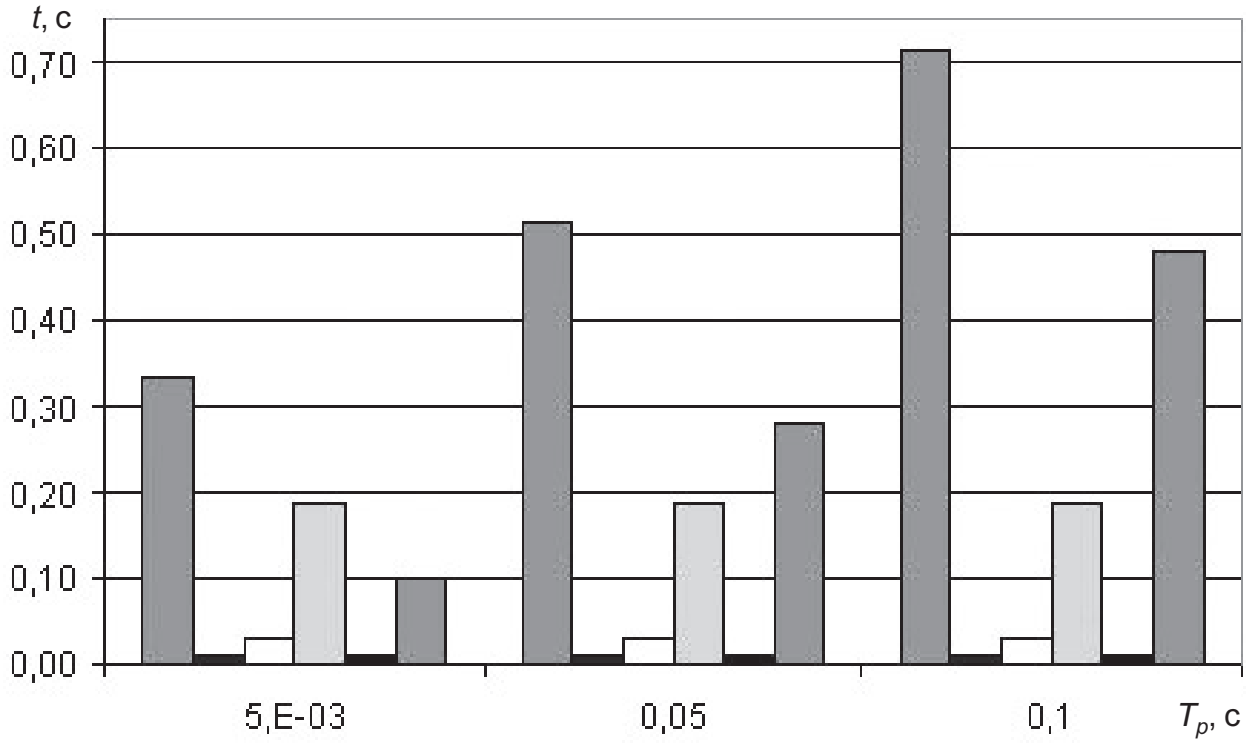


Рис. 4. Время установления соединения для услуги Freephone (IP-сеть)
T_FPH; T_SP_A; T_SSP; T_SCP; T_SP_B; T_P

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бузюкова И.Л., Гайдамака Ю.В.** Исследование сигнальной нагрузки интеллектуальных сетей связи с узлами в разных часовых поясах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2008. № 5. С. 67–74.

2. **Самуйлов К.Е., Филюшин Ю.И.** Оценка среднего значения времени установления соединения для услуг интеллектуальной сети связи // Электросвязь. 1996. № 6. С. 14–16.

3. **Bafutto M., Kuhn P., Willmann G.** Capacity and Performance Analysis of Signaling Networks in Multivendor Environments // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1994. Vol. 12, № 3. P. 490–500.

4. **Zharkov M., Chekmareva E., Samouylov K.** Methods of Estimating SS 7 Time Responses in Mobile Cellular Communication System // Proc. CONTEL'93. Zagreb. 1993.

5. **Лузгачев М.В., Сопин Э.С.** Модель сигнального трафика в сети следующего поколения на базе технологии IMS // XLIV Всерос. конф. по проблемам математики, информатики, физики и химии. Тез. докл. Секции математики и информатики. / М.: Изд-во РУДН. 2008.

6. **Baskett F., Chandy K.M., Muntz R.R., Palacios F.G.** Open, Closed and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers // Journal of the ACM. 1975. Vol. 22, № 2. P. 248–260.

7. **Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д.** Интеллектуальные сети. М.: Радио и связь. 2000.

8. **Самуйлов К.Е.** Методы анализа и расчета сетей ОКС 7. М.: Изд-во РУДН. 2002.

9. ITU-T: White Book, Recommendation Q.706: Signalling System 7 – Message Transfer Part Signalling Performance. Geneva. March 1993.

10. **Вишневский В.М.** Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера. 2003.

УДК 519.711.3

В.И. Антонов, А.И. Загайнов, А.Н. Коваленко

ДИНАМИЧЕСКИЙ ТРЕНД КОРРЕЛЯЦИОННОЙ РАЗМЕРНОСТИ КАК ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМА

В настоящее время вырос интерес к исследованию временных рядов биологического происхождения методами нелинейной динамики. Наиболее удобными диагностическими показателями (сигналами) деятельности организма, отражающими его общую жизнеспособность, являются электрические сигналы работы сердца, которые достаточно просто регистрируются, так как имеют высокую амплитуду и чётко выраженные характерные точки ритма. Несмотря на это, ЭКГ не является регулярным и стохастическим режимом. Это особый вид – детерминированный хаос. Доказательства такого режима функционирования сердца на конкретных примерах приведены в середине 90-х годов и позволяют утверждать о возможности применения фрактальных методов к его исследованию. Однако описание ЭКГ здорового ритма различными нелинейными математическими моделями (скажем, системой нелинейных дифференциальных уравнений) не имеет, на наш взгляд, каких-либо значимых успешных результатов. В то же самое время получаемая траектория изменения информационной энтропии в фазовых координатах по времени наблюдения визуально (качественно) отображает динамику изменения реакций организма на внешние и внутренние воздействия с переходом от устойчивых самоподобных (фрактальных) и неустойчивых (адаптационных) форм аттрактора к предельным (летальным) циклам. Предвестником последних часто является "более регулярный" (ригидный) пульс, а также проявление регулярных режимов в других физиологических процессах. Вполне возможно, что "уменьшенная хаотичность" сигнала в случае указанных патологий позволит найти универсальный нелинейный характеристический показатель, по тренду изменения которого можно будет прогнозировать летальный цикл, скажем фибрилляцию желудочков. Также над подобными сигналами

необходимо произвести попытку описания нелинейными математическими моделями, не только с целью поиска универсальных характеристических показателей, но и прогнозирования различных аритмий.

Сложность рассматриваемых биомедицинских сигналов отмечена давно. В 1996 году Северо-Американским Электрофизиологическим Обществом и Европейским Обществом Кардиологии даны рекомендации к использованию в качестве стандартов измерений физиологической интерпретации вариабельности сердечного ритма (ВСР). [10] Большинство исследований ВСР стандартными методами основывается на линейности изменения сердечного ритма и выявляют его известные показатели (стандартное отклонение длительности интервалов между синусовыми сокращениями (SDNN), стандартное отклонение средних значений RR-интервалов (SDANN), показатели автономного контура регуляции (RMSSD, pNN50), триангулярный индекс, значения мощности в различных частотных диапазонах, низко- и высокочастотные спектральные компоненты, их отношения (ULF, VLF, LF, HF, LF/HF и др.) для кратковременных и долговременных записей кардиоинтервалов. Также с помощью оценки указанных показателей ВСР ведутся исследования изменений вегетативной регуляции при мерцательной аритмии [11].

При этом необходимо подчеркнуть, что ВСР отражает сложную многоконтурную систему регуляции сердечного ритма, на которую оказывают постоянное воздействие центральная и вегетативная нервная система, насыщение крови кислородом и углекислым газом, рефлексы и др. В указанных работах такие явления относятся к стационарным влияниям на ритм сердца, в которые вкладываются и случайные процессы, протекающие приблизительно однородно и имеющие вид непрерывных колебаний вокруг некоторого среднего значения. Но на ритмичную деятельность сердца оказывают влияние и приходящие факторы, связанные с функцией системы кровообращения, которые при различных сердечно-сосудистых патологиях развиваются в нарушения ритма и существенно влияют на регулярность сердечных сокращений [11]. Такие переходные процессы характеризуются тенденцией к развитию во времени, таким образом их характеристики зависят от начала отсчёта [14]. В отклике сердечно-сосудистой системы на нагрузку можно выделить два нелинейных периода. Подобные нелинейные феномены, несомненно, являются одной из причин ВСР [10]. Поэтому вопросы динамического поведения комплексных систем (в данном случае сердечно-сосудистой) в настоящее время всё больше рассматриваются с позиций детерминированного хаоса. Так, в [1] исследовано предположение, что нелинейный компонент ВСР может показывать периодическую структуру за 24-часовой период, что было частично подтверждено. Имеются противоречивые данные о влиянии на нелинейный компонент ВСР дыхания. Авторы [3] не выявили достоверных различий при произвольном и принудительном дыхании в нелинейном компоненте ВСР. В [2], наоборот, сообщается о выраженности нелинейного компонента ВСР при принудительном дыхании. В [6] показано, что методы, основанные на анализе нелинейной динамики ВСР лучше выявляют пациентов с риском внезапной смерти. В [5] исследовано изменение ВСР в девяносто двух эпизодах пароксизмов фибрилляции предсердий. Нелинейные методы включали такие показатели, как аппроксимация энтропии (ApEn). Авторы заключают, что уменьшение нелинейных критериев отражает изменение симпато-вагусной регуляции до начала пароксизма фибрилляции предсердий. В [4] также отмечено, что методы оценки ВСР, основанные на нелинейном анализе, лучше стандартных выявляют изменения у больных перед началом желудочковой фибрилляции [11].

Однако нелинейный анализ ВСР требует длительного формирования массива данных для построения восстановленного аттрактора, расчёт тренда размерности которого затягивается до нескольких часов, что недопустимо в условиях неотложной кардиологии и требует перехода от RR-интервалов к полной ЭКГ. Такой переход, безусловно, значительно усложняет задачу, однако, увеличивает достоверность энтропийной оценки [7]. Так, в работах [8] и [13] показано, что к настоящему времени не существует показателей удовлетворительно описывающих реакции сердечно-сосудистой системы на всевозможные внешние воздействия (физические нагрузки, стрессы и т. п.). В работе [9] приводятся доказательства нерегулярного режима функционирования работы сердца здорового человека, основанного на полной ЭКГ. Надежда на

прогноз состояния кардиоритма была связана с возможностью реконструкции сигнала системой нелинейных дифференциальных уравнений [15] и на основе её решения заключения о дальнейшем состояния жизнедеятельности организма. Такие попытки теоретически (на основе теоремы Такенса) должны быть произведены в фазовом пространстве вложения с минимальной размерностью не менее семи. Реальные же вычисления производились в пространствах вложения с размерностью до трёх, поскольку количество управляющих параметров, для правых частей уравнений, представленных в виде полиномов уже для трёхмерного случая – шестьдесят. Положительных результатов не было получено. Если подобные результаты были бы получены, то расчёт предложенного прогноза даже на современных ЭВМ составлял бы около суток, при времени прогнозирования около полутора часов. Однако попытку реконструкции динамической системы возможно применить к случаям угрозы желудочковой фибрилляции, о чём на данный момент нам не известно.

Анализ работ последних лет по различным аспектам изучения сердечного ритма в норме и при патологиях показывает, что помимо классических методов анализа во временной и частотной области существует устойчивая тенденция к изучению сердечного ритма с позиций нелинейного анализа. Многообразные влияния, включая нейрогуморальные механизмы высших вегетативных центров, обуславливают нелинейный характер изменений сердечного ритма, для описания которого требуется использование специальных методов (графики аттрактора, корреляционная размерность, энтропия Шеннона и пр.). Все эти методы в настоящее время представляют преимущественно исследовательский интерес, их практическое применения до конца не ясно, и, как следствие, ограничено.

Как было отмечено выше, в качестве исходных входных сигналов мы будем использовать полные ЭКГ пациентов, снятые с различными частотами дискретизации (100, 200 и 500 Hz). Для количественной оценки характеристик энтропийного аттрактора используются вероятностные (фрактальные) размерности, общим выражением которых является размерность Реньи:

$$D_{Rq} = \lim_{\varepsilon \to 0} \lim_{\tau \to 0} \lim_{m \to \infty} \frac{\ln I_{Rq}(\varepsilon)}{\ln(1/\varepsilon)}.$$

Здесь $I_{Rq} = \frac{\sum_{i=1}^{M(\varepsilon)} p_i^q}{1-q}$ – обобщённая энтропия Реньи порядка q; $M(\varepsilon)$ – минимальное число n-мерных "измерительных" кубиков с ребром ε, необходимых для покрытия аттрактора в n-мерном фазовом пространстве (пространстве вложения); m – число точек, используемых для оценки размерности (число последовательных измерений, проводимых через равные промежутки времени τ). Частными случаями соотношений Реньи при $q = 2$ является корреляционная энтропия $I_C = \ln \frac{C(r,n)}{C(r,n+1)}$ и соответствующая ей корреляционная размерность

$$D_C = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\ln \sum_{i=1}^{M(\varepsilon)} p_i^2}{\ln \varepsilon} = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\ln C(\varepsilon)}{\ln \varepsilon}$$

Здесь $C(\varepsilon) = \lim_{m \to \infty} \frac{\sum_{i,j=1}^{m} \theta(\varepsilon - \rho(x_i, x_j))}{m^2}$ – корреляционный интеграл; θ – "ступенчатая" функция Хевисайда; ρ – расстояние между точками x_i, x_j в n-мерном фазовом пространстве; p_i – вероятность того, что пара точек аттрактора принадлежит i-му кубику; $C(r) = \sum_{i=0}^{m-2} \sum_{j=i+1}^{m-1} \frac{\theta(r - p(x_i, x_j))}{m(m-1)/2}$ – корреляционный интеграл, показывающий относительное число пар точек аттрактора, находящихся на расстоянии не большем r.

Основываясь на запатентованной технологии прогнозирования функционального состояния организма [12] мы получим тренды этих детерминировано-хаотических показателей в течение суток для записей холтеровских мониторов, вычислив указанные величины для коротких выборочных интервалов сигнала через определённые промежутки времени. Каждый из таких показателей позволяет установить общий характер движения в системе: периодичность, квазипериодичность, динамический хаос, шум.

На рис. 1–2 видна отчётливая зависимость указанных величин от состояния биологической системы (человека) на примере корреляционной размерности и энтропии. Отметим, что в виду сложности сигнала невозможно его описание конечномерным пространством вложения. В силу этого мы вычислим указанные характеристики, повышая размерность пространства вложения начиная с трёх.

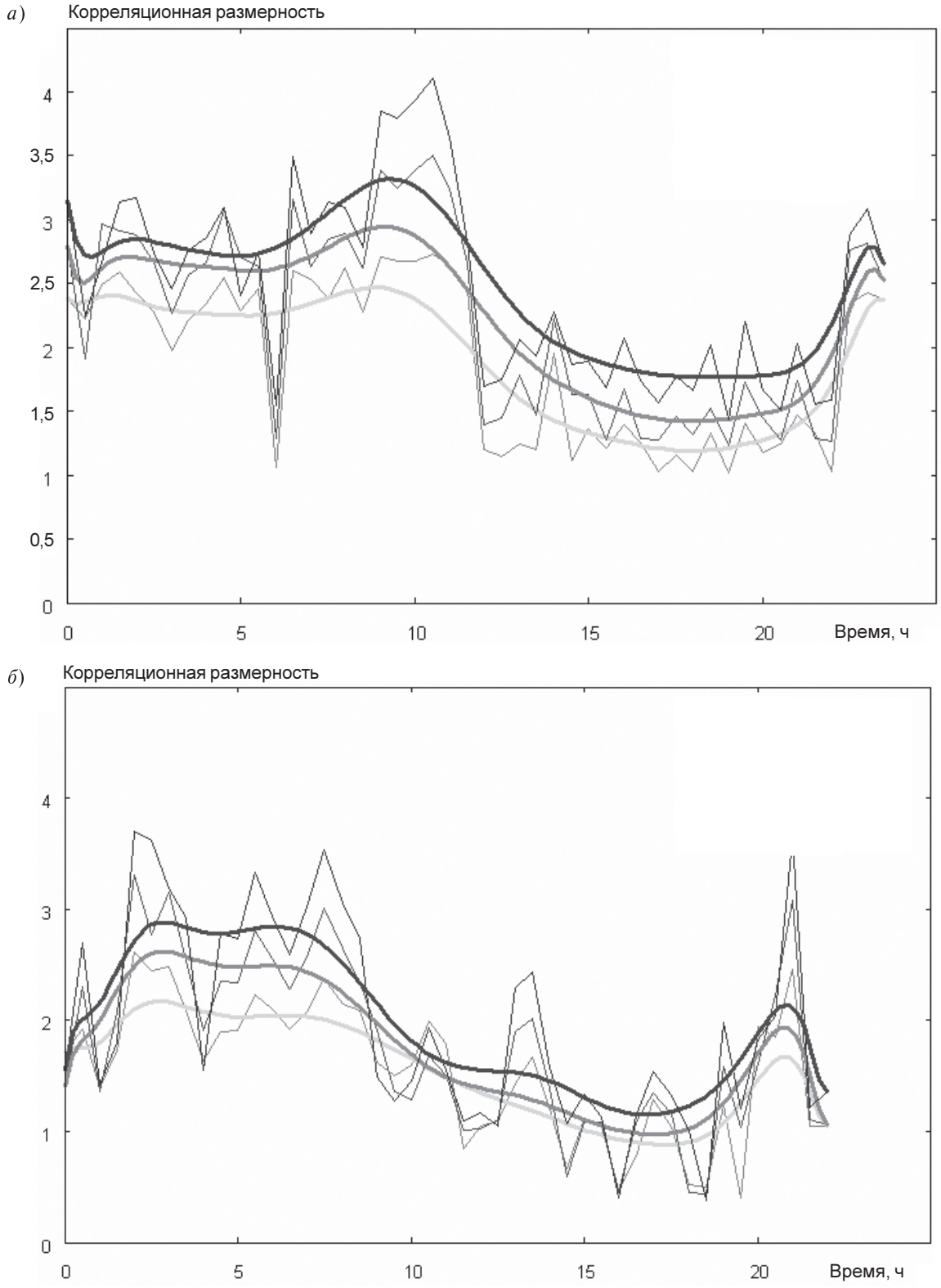


Рис. 1. Корреляционная размерность и её тренд для различных пространств вложения: ребёнок 4-х лет (*а*) и взрослый мужчина 37 лет (*б*)
Размерность (N = 3) (——); тренд (——); размерность (N = 4) (——); тренд (——); размерность (N = 5) (——); тренд (——)

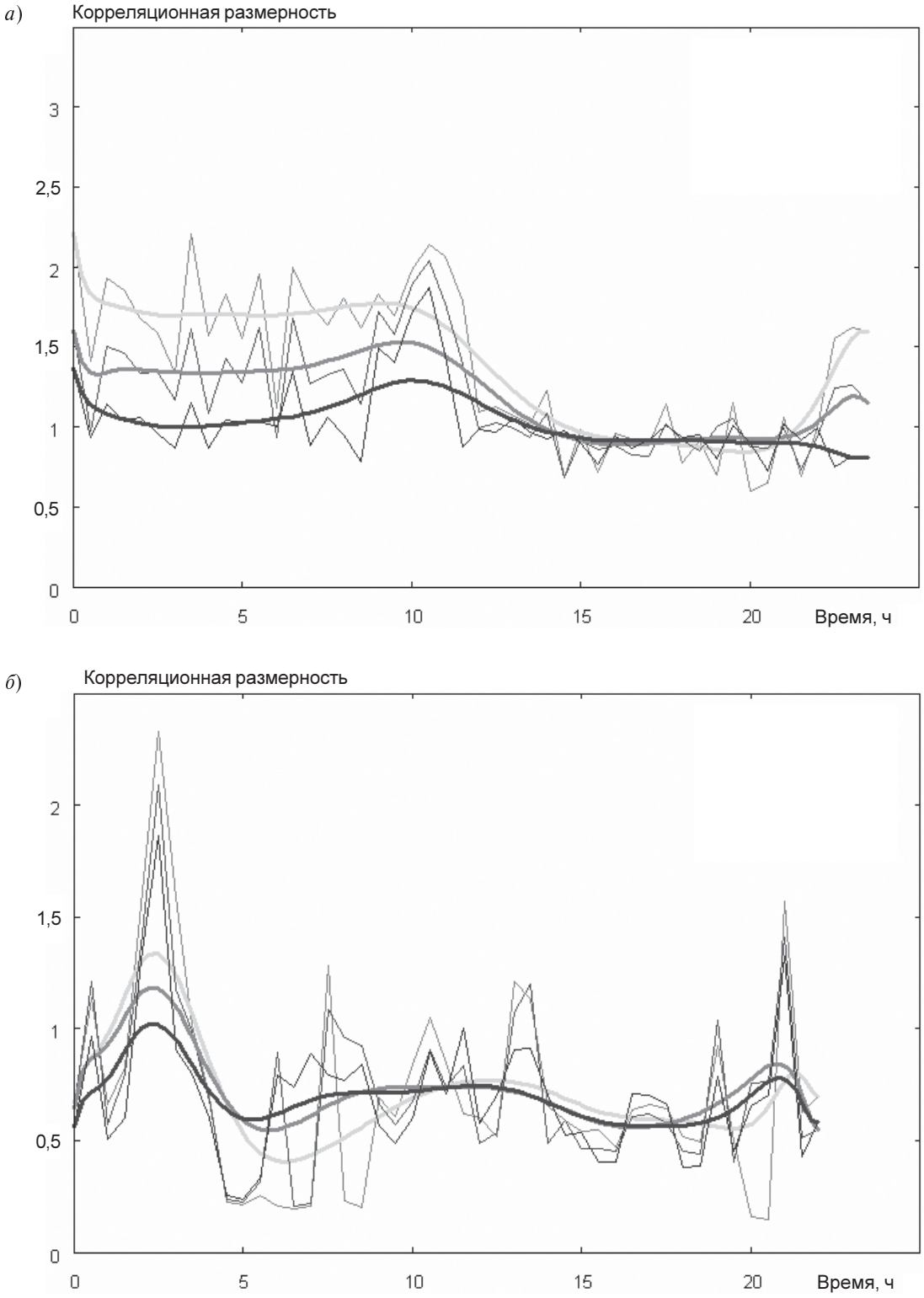


Рис. 2. Корреляционная энтропия и её тренд для различных пространств вложения: ребёнок 4-х лет (*а*) и взрослый мужчина 37 лет (*б*)

Энтропия (N = 3) (———); тренд (———); энтропия (N = 4) (———); тренд (———);
энтропия (N = 5) (———); тренд (———)

Подобные результаты получены для пациентов различного возраста и состояния. В них отчётливо видно влияние сна (на рис. 1*а*, 2*а* приблизительно с четырнадцати до двадцати двух часов, на рис. 1*б*, 2*б* с одиннадцати до девятнадцати), физических нагрузок, и конечно же аритмий. При этом динамический тренд корреляционной размерности при переходе биологической системы в более спокойное состояние начинает убывать, для любого пространства вложения сохраняя свою форму, при этом тренд корреляционной энтропии становится одинаковым независимо от пространства вложения. Произведено исследование более двадцати пациентов, находящихся под общей анестезией во время различных операций, при этом показано её влияние на общее состояние биологической системы. На рис. 3 приведены тренды корреляционной размерности для группы пациентов, находящихся в тяжелом состоянии и рассмотрен случай летального исхода, при котором тренд корреляционной размерности около двух часов оставался практически постоянным, а в дальнейшем наблюдался его резкий спад до нуля (фибрилляция желудочков) (см. рис. 4). Отдельно рассмотрим форму аттрактора для различных минут в течение последних пяти минут жизни (рис. 5).

Сказанное выше подчёркивает необходимость создания аппаратно-программного комплекса исследований ЭКГ, базирующегося, вначале, на трехканальном холтеровском мониторировании, включающем хаотические характеристики сигнала через определенные интервалы времени: двухмерного аттрактора системы, гистограмму вариабельности, автокорреляционную функцию (с указанием её первого локального минимума и первого нуля), корреляционную размерность и её динамический тренд (с размерностью пространства вложения 3), корреляционную энтропию и ее динамический тренд (с размерностью фазового пространства 3), производную энтропии, погрешности их вычисления. На основе предложенных характеристик комплекс будет не только давать заключение о состоянии сердечно-сосудистой системы, но и позволит выявить наиболее адекватную характеристику его работы при внезапной фибрилляции желудочков.

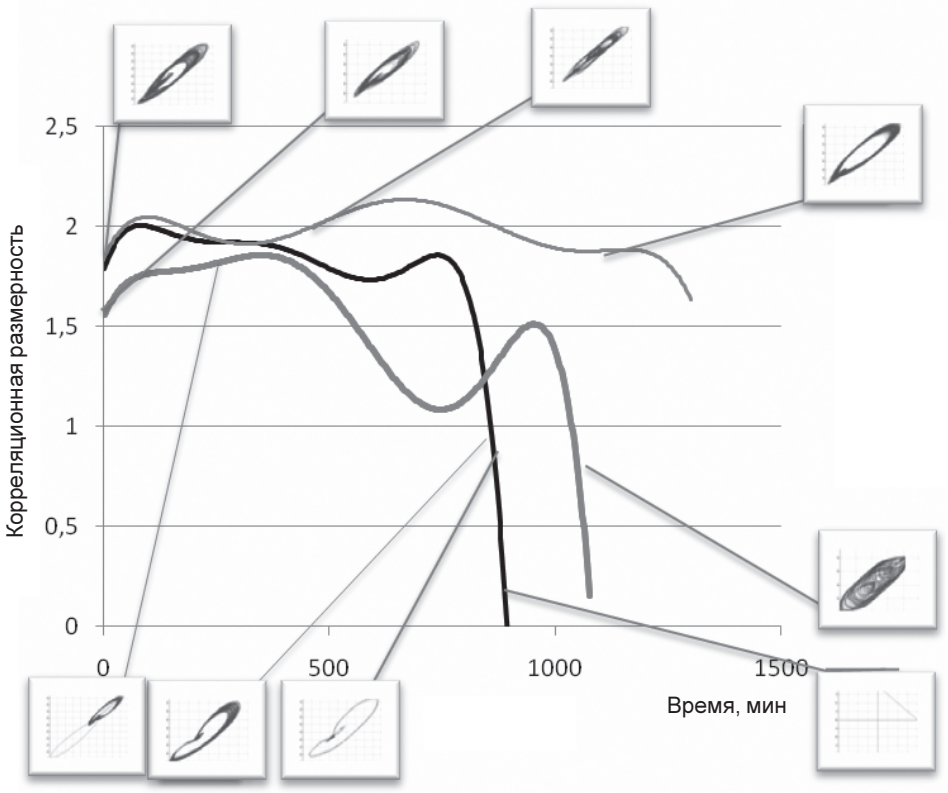


Рис. 3. Тренд корреляционной размерности для пациентов в тяжелом состоянии
Внезапная смерть (———); 88 лет, нарушение ритма сердца с угрозой для жизни (———); 49 лет, вегетативное состояние (———)

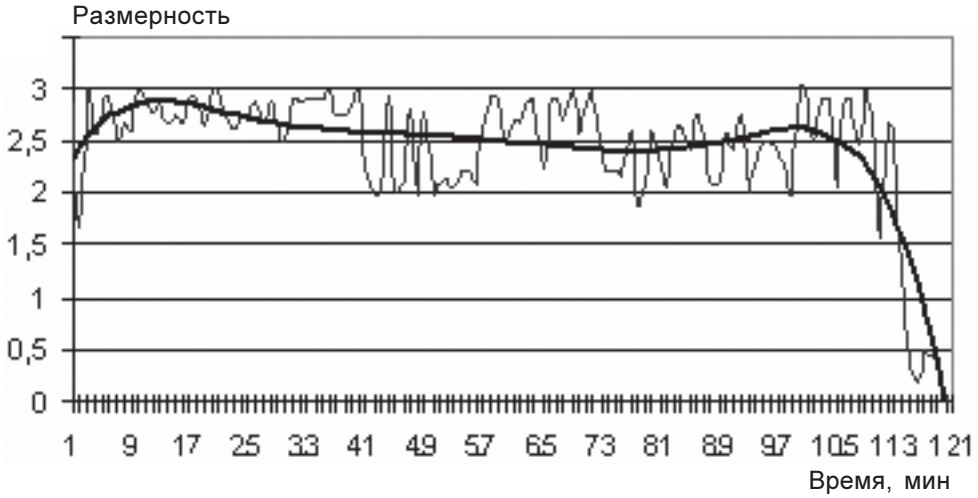


Рис. 4. Тренд корреляционной размерности в последние два часа жизни

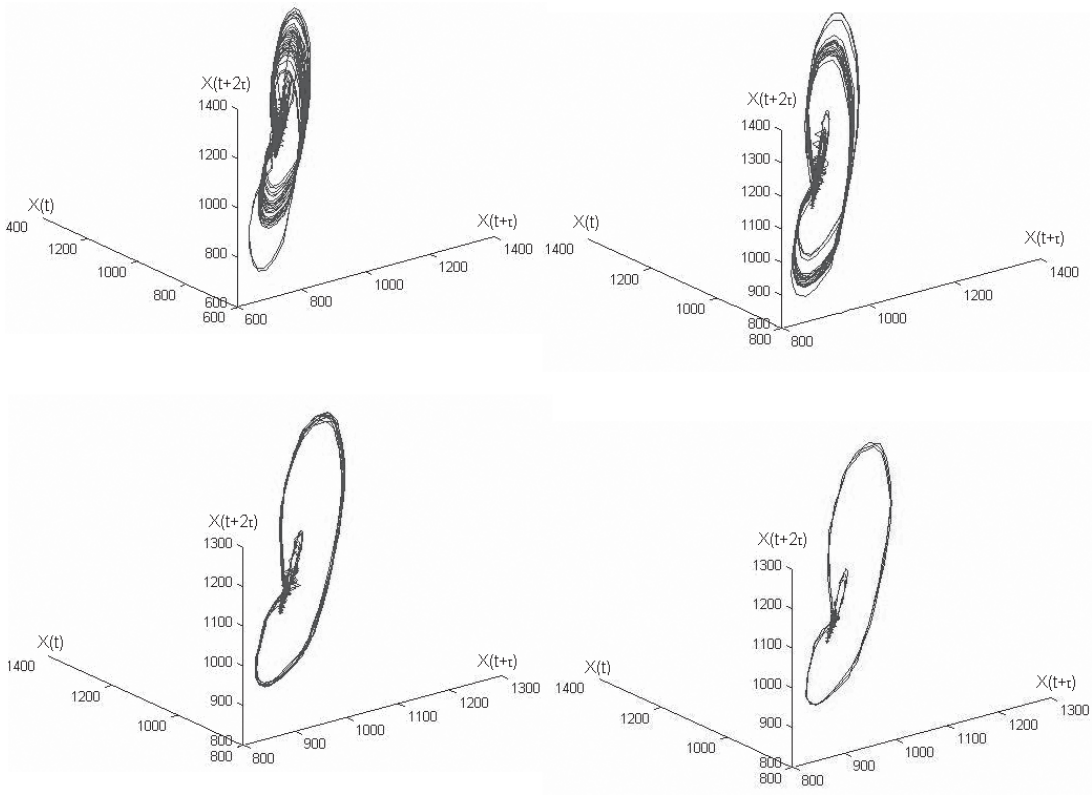


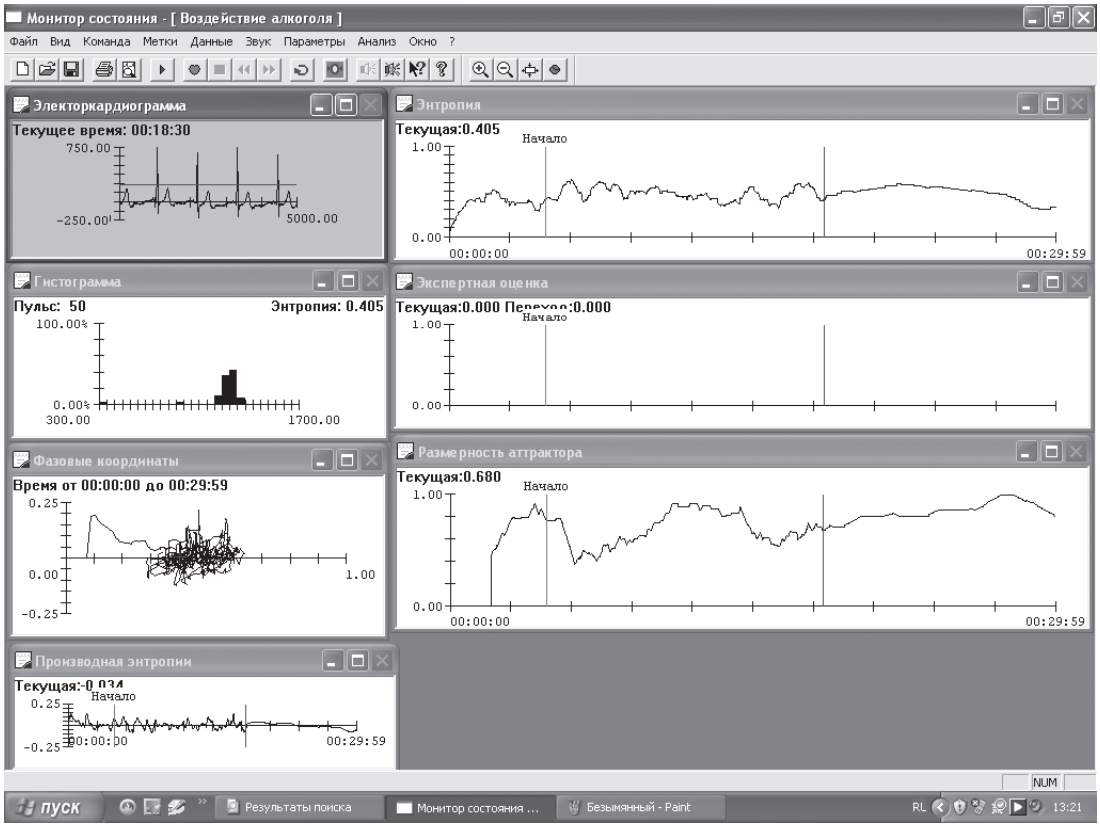
Рис. 5. Изменение вида аттрактора в течение последних пяти минут жизни

Такой программный комплекс разрабатывается нами в настоящее время. На рис. 6 приведён приблизительный интерфейс комплекса и результаты для кардиоинтервалограмм.

Комплекс работает и с полной ЭКГ. Дальнейшее исследование ведется с целью настройки за счёт поступающих данных пациентов, находящихся под общей анестезий во время различных операций, реабилитации после инфаркта миокарда, различными кардиопатологиями, в частности, мерцательной аритмией.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-08-01135-а).

а)



б)

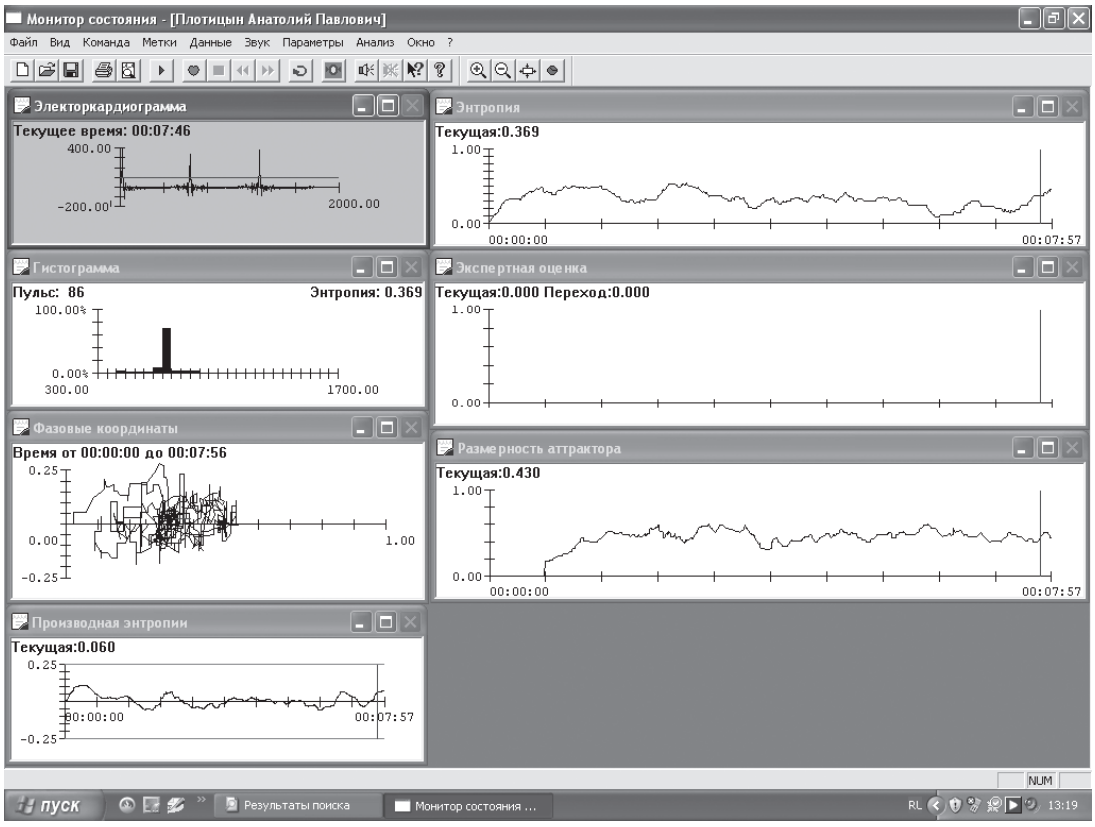


Рис. 6. Пример использования аппаратно-программного комплекса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Curione M., Bernardini F., Cedrone L.** et al. The chaotic component of human heart rate variability shows a circadian periodicity as documented by the correlation dimension of the time-qualified sinusal R-R intervals. Clin Ter. 1998.

2. **Fortrat J.O. Yamamoto Y., Hughson R.L.** Respiratory influences on non-linear dynamics of heart rate variability in humans. Biol Cybern. 1997.

3. **Kanters J.K., Hojgaard M.V., Agner E.** et al. Influence of forced respiration on nonlinear dynamics in heart rate variability. Am J Physiol. 1997.

4. **Makikallio T.H., Koistinen J., Jordaens L.** et al. Heart rate dynamics before spontaneous onset of ventricular fibrillation in patients with healed myocardial infarcts. Am-J-Cardiol. 1999.

5. **Vikman S., Yli-Mayry S., Makikallio T.H.** et al. Differences in heart rate dynamics before the spontaneous onset of long and short episodes of paroxysmal atrial fibrillation. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2001.

6. **Voss A., Kurths J., Klein H.J.** et al. The application of methods of nonlinear dynamics for the improved and predictive recognition of patients threatened by sudden cardiac death // Cardivasc. Res. 1996.

7. **Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И., Шиманский-Гайер Л.** Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах // Институт компьютерных исследований. Москва-Ижевск. 2003.

8. **Анищенко В.С., Сапарин П.И.** Нормированная энтропия как диагностический признак реакции сердечно-сосудистой системы человека на внешнее воздействие // Изв. вузов ПНД. Т. 1. 1993. № 3, 4.

9. **Анищенко В.С., Янсон Н.Б., Павлов А.Н.** Может ли режим работы сердца здорового человека быть регулярным? // Радиотехника и электроника. Т. 48. 1997. № 8.

10. Вариабельность сердечного ритма / Рабочая группа Европейского Кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии // Вестник аритмологии. 1999. № 11.

11. **Колюцкий А.К., Иванов Г.Г., Дворников В.Е., Грибанов А.Н., Юзеф Х., Рехвиашвили М.В., Котлярова Л.В., Тюрин А.В., Шумилова К.М.** Исследование вариабельности сердечного ритма при анализе аритмий // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Медицина. 2001. № 2.

12. **Носырев С.П., Коваленко А.Н., Григорьев В.А.** Способ прогнозирования функционального состояния организма человека. Патент РФ № 2226067 по заявке № 20001119330/14 от 10.08.2001.

13. **Павлов А.Н., Янсон Н.Б., Анищенко В.С., Гриднев В.И., Довгалевский П.Я.** Диагностика сердечно-сосудистой патологии методом вычисления старшего показателя Ляпунова по последовательности RR-интервалов // Изв. вузов ПНД. Т. 6. 1998. № 2.

14. **Рябыкина Г.В., Соболев А.В.** Вариабельность ритма сердца: Монография. М. 1998.

15. **Янсон Н.Б., Анищенко В.С.** Моделирование динамических систем по экспериментальным данным, Изв. вузов ПНД. Т. 3. 1995. № 3.

УДК-004.358

А.А. Ханова, И.О. Григорьева, Е.С. Потапова

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГРУЗОВОГО ПОРТА)

Современный этап развития транспортных перевозок характеризуется ростом требований к срокам доставки грузов, качеству перевозок, сокращению затрат на транспортно-складские операции. Более трети транспортных узлов в Российской Федерации связаны с перевозками водным транспортом, их организационно-технологическая основа – морские и речные грузовые порты (ГП). Рынок услуг по перевалке грузов водным путем является остроконкурентным. В качестве объектов конкурентной борьбы выступают грузопотоки, клиенты, инвестиции из различных источников, льготные условия и благоприятный режим работы, трудовые и интеллектуальные ресурсы. Реальным направлением повышения эффективности работы ГП стала

оптимизация управления технологическими процессами порта, его инфраструктурой на основе применения современных управленческих, информационных и компьютерных технологий.

Типовые технологические процессы ГП: перегрузочные; транспортировки грузов; складские; вспомогательные. Технологические процессы отличаются разнообразием по характеру и трудоёмкости, а также зависят от множества факторов, большая часть которых не управляема портом и носит стохастический характер. Указанные особенности определяют понятийную сложность объекта исследования, высокую размерность задачи анализа и, таким образом, невозможность использования однообразного математического аппарата и затрудненность математического описания формальными моделями. Для описания подобных слабоформализуемых процессов целесообразно применять имитационные модели [1].

Получение различных сценариев функционирования ГП на основе имитационного моделирования позволяет производить оценку этих сценариев, в связи с чем необходимо выявить систему показателей работы ГП, которая давала бы полную картину состояния предприятия. Эффективность деятельности ГП определяется не столько финансовыми показателями, сколько умением эффективно организовать управляющие процессы внутри самого порта. Поэтому традиционная финансовая модель бухгалтерской отчётности перестает удовлетворять потребностям грузовых портов для выживания на конкурентном рынке. Требуется новая система оценки эффективности, включающая в отчётность не только финансовые показатели, но и показатели стратегического развития ГП.

Таким образом, становится актуальной задача разработки способа оценки эффективности деятельности грузового порта, основанного на анализе как финансовых, так и нефинансовых показателей его деятельности, и реализация компьютерной имитационной модели, позволяющей количественно оценить деятельность порта.

Разработка сбалансированной системы показателей ГП

Первые модели измерения и оценки результатов деятельности предприятий появились в 1920-х годах, были довольно простыми для расчёта и строились исключительно на финансовых показателях (например, мультипликативная модель Дюпона или показатель ROI). В 70–90-х годах появились другие концепции оценки стоимости и эффективности работы предприятий, среди которых наиболее популярна в последние годы сбалансированная система показателей (ССП).

ССП – это система стратегического управления компанией на основе измерения и оценки её эффективности по набору оптимально подобранных показателей, отражающих все аспекты деятельности организации, как финансовые, так и нефинансовые [2]. Название системы отражает то равновесие, которое сохраняется между краткосрочными и долгосрочными целями, финансовыми и нефинансовыми показателями, основными и вспомогательными параметрами, а также внешними и внутренними факторами деятельности. Суть ССП заключается в формулировании стратегии в нескольких перспективах, постановке стратегических целей и измерении степени достижения данных целей при помощи показателей. Слово "сбалансированный" (balanced) в названии методологии означает одинаковую важность всех показателей.

ССП предназначена дать ответы на четыре вопроса: 1) как фирму оценивают клиенты (аспект клиента); 2) какие процессы могут обеспечить фирме исключительные конкурентные преимущества (внутрихозяйственный аспект); 3) каким образом можно достичь дальнейшего улучшения состояния фирмы (аспект инноваций и обучения); 4) как оценивают предприятие акционеры (финансовый аспект).

Сохраняя финансовые параметры, ССП вводит новые оценочные характеристики будущей финансовой деятельности. Результаты деятельности, клиенты, внутренний бизнес-процесс, коммуникации и обучение – все эти понятия являются результатом чёткого перевода стратегии компании в плоскость реальных задач и критериев их решения. В работе впервые рассматривается деятельность ГП в рамках четырех перспектив: финансы; клиенты; внутренние бизнес-процессы; обучение и развитие.

Показатели ССП перспективы "Финансы". В начале разработки финансовой составляющей ССП определены финансовые показатели для целей "Рост прибыли" и "Сокращение издержек". Ряд финансовых показателей, наиболее важных для оценки погрузочно-разгрузочных работ грузовых портов, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Финансовые показатели грузового порта

Финансовые показатели	Формула	Обозначения
Затраты на амортизацию кранового оборудования порта $З_{ам_кр}$	$\sum_i^n \frac{П_{с_i} \times t}{T_{сл_i} \times 12}$	$П_{с_i}$ – первоначальная стоимость i-го крана; $T_{сл_i}$ – время службы i-го крана, годы; t – время моделирования, мес; n – количество кранов
Затраты на амортизацию складских автопогрузчиков порта $З_{ам_са}$	$\sum_i^n \frac{П_{с_i} \times t}{T_{сл_i} \times 12}$	$П_{с_i}$ – первоначальная стоимость i-го складского автопогрузчика; $T_{сл_i}$ – время службы i-го складского автопогрузчика, годы; t – время моделирования, мес; n – количество складских автопогрузчиков
Затраты на амортизацию вагонных автопогрузчиков порта $З_{ам_ва}$	$\sum_i^n \frac{П_{с_i} \times t}{T_{сл_i} \times 12}$	$П_{с_i}$ – первоначальная стоимость i-го вагонного автопогрузчика; $T_{сл_i}$ – время службы i-го вагонного автопогрузчика, годы; t – время моделирования, мес; n – количество вагонных автопогрузчиков
Затраты на амортизацию автомашин порта $З_{ам_авто}$	$\sum_i^n \frac{П_{с_i} \times t}{T_{сл_i} \times 12}$	$П_{с_i}$ – первоначальная стоимость i-й автомашины; $T_{сл_i}$ – время службы i-й автомашины, годы; t – время моделирования, мес; n – количество автомашин
Затраты на зарплату бригады рабочих $З_{з/пл_раб}$	$\sum_i Ф_i V_i K_i$	$Ф_i$ – тарифная ставка за перемещение 1 т i-го типа груза; V_i – объём перемещённого i-го типа груза; K_i – количество рабочих, переместивших i-й тип груза
Затраты на топливо автомашин $З_{т_авто}$	$\sum_i T_i З_{ai}$	T_i – время работы i-й автомашины, ч; $З_a$ – средняя величина расхода топлива i-й автомашины в час
Затраты на топливо складских погрузчиков $З_{т_са}$	$\sum_i T_i З_{сi}$	T_i – время работы i-го складского погрузчика, ч; $З_{сi}$ – средняя величина расхода топлива i-го складского погрузчика в час
Затраты на топливо вагонных погрузчиков $З_{т_ва}$	$\sum_i T_i З_{вi}$	T_i – время работы i-го вагонного погрузчика, ч; $З_{вi}$ – средняя величина расхода топлива i-го вагонного погрузчика в час
Затраты на электроэнергию $З_э$	$\sum_i T_i Э_i Ф_э$	T_i – время работы i-го крана, ч; $Э_i$ – потребление электроэнергии i-го крана, кВт/ч; $Ф_э$ – тарифная ставка стоимости электроэнергии, руб./кВт
Затраты на ремонт $З_р$	$\sum_i T_i Р_i$	T_i – длительность ремонта i-го оборудования, дни; $Р_i$ – стоимость ремонта i-го оборудования в день
Затраты на складирование $З_{скл}$	$\sum_i t З_{пл_i}$	$З_{пл_i}$ – заработная плата i-го сотрудника склада в день; t – время моделирования, дни
Затраты за пользование вагонами $З_{польз}$	$\sum_i t_i Ф_{польз}$	$Ф_{польз}$ – расчётный размер платы за пользование вагонами; t_i – время использования i-го состава
Штрафы за превышение норм простоя состава вагонов $З_ш$	$\sum_i (t_i - 29) 200$	t_i – время нахождения i-го состава вагонов в порту, если оно более 29 ч
Затраты на промывку, дезинфекцию вагонов $З_{дез}$	$\frac{t Ст}{30}$	t – время моделирования, дни; Ст – величина оплаты за промывку и дезинфекцию вагонов в месяц

Показатели ССП перспективы "Клиенты". Клиентская составляющая ССП определяет круг клиентов и сегменты потребительского рынка. Основные цели этой перспективы: "Сохранение клиентской базы", "Привлечение клиентов" и "Повышение удовлетворенности клиентов". Один из самых значимых показателей перспективы "Клиенты" – показатель "Репутация предприятия":

$$РП = \frac{КВЗ_{бп}}{КВЗ_{общ}} 100\ \%,$$

где $КВЗ_{бп}$ – количество выполненных за период времени T заявок, по которым не поступило претензий; $КВЗ_{общ}$ – общее количество выполненных за период T заявок. Данный показатель рассчитывается по каждому виду грузов. Общий показатель репутации предприятия вычисляется как среднее значение показателей репутации предприятия по всем видам грузов.

Показателями, характеризующими клиентскую составляющую ССП, являются также показатели количества привлечённых клиентов, процент клиентов, обратившихся повторно.

Показатели ССП перспективы "Внутренние бизнес-процессы". Составляющая внутренних бизнес-процессов (табл. 2) определяет виды деятельности, наиболее важные для достижения целей потребителями. Цели и показатели данного раздела ССП связаны в основном с обеспечением качества обслуживания и оптимизацией логистических процессов ГП.

Часть из этих показателей (*) трудно оценить количественно. Ожидания клиентов основываются на их субъективном мнении и чаще всего выражаются такими предположениями, как "желательно, чтобы груз был доставлен с 9 до 10 ч", "оплата в пределах от 1000 до 1200 долл.", в которых имеются элементы нечеткости. Инстру-

Таблица 2

Показатели "Внутренние бизнес-процессы" грузового порта

Показатели внутренних бизнес-процессов	Формула	Обозначения
Качество погрузки КП*	$\frac{КВЗ_{бо}}{КВЗ_{общ}} 100\ \%$	$КВЗ_{бо}$ – количество выполненных за период времени T заявок, полностью соответствующих количественным и качественным характеристикам; $КВЗ_{общ}$ – общее количество выполненных заявок за тот же период времени T
Безотказность погрузки БП*	$\frac{КПрЗ}{КПЗ} 100\ \%$	КПрЗ – количество принятых за период времени T заявок; КПЗ – количество поступивших заявок за тот же период времени T
Время погрузки ВП*	$\frac{T_п}{КВЗ_{общ}}$	$T_п$ – время погрузки; $КВЗ_{общ}$ – общее количество выполненных за период T заявок
Сохранность груза при погрузке СГ*	$\frac{КПГ}{КПГ_{поз}} 100\ \%$	КПГ – количество фактически погруженного за период T груза, т; $КПГ_{поз}$ – количество груза, которое необходимо было погрузить за период T, т
Грузооборот склада Г	$\sum Q_i / K_{пер}$	Q_i – объём товаров, проходящих через склад за период времени по i-й товарной группе, руб.; $K_{пер}$ – коэффициент перевода объёма товаров в денежном выражении к объёму товаров в физическом выражении, руб./м^3
Коэффициент ошибок при отгрузке $K_{ош}$	$\frac{N_{ош}}{N_{общ}}$	$N_{ош}$ – сумма ошибок при отгрузках, руб.; $N_{общ}$ – общая сумма отгрузок, руб.
Производительность труда $П_{тр}$	$\frac{Г}{Ч_{общ}}$	Г – грузооборот, м^3; $Ч_{общ}$ – численность складского персонала, чел.
Коэффициент загрузки склада $K_з$	$\frac{Q_{факт}}{Q_{м^3норм}}$	$Q_{факт}$ – объём фактически находящегося на складе товара, м^3; $Q_{м^3норм}$ – нормативная вместимость склада

Примечание. * – показатель рассчитывается по каждому виду грузов. Общий показатель вычисляется как среднее значение показателей по всем видам грузов.

ментом выражения нечётко определённых ожиданий клиентов является математический аппарат, основанный на теории нечётких множеств.

Показатели ССП перспективы "Обучение и развитие". Цели первых трёх компонентов ССП, отражающих состояние финансов, клиентской базы и внутренних процессов, направлены на кардинальное улучшение деятельности ГП. Составляющая обучения и развития обеспечивает предприятие соответствующей инфраструктурой для достижения этих целей. Показателями в этой перспективе будут выступать затраты на обучение и доход на одного работника.

На рис. 1 приведена стратегическая карта, описывающая стратегию "Рост прибыли" ГП в виде набора стратегических целей и причинно-следственных связей между ними.

Существует много программных инструментов для построения СПП (QPR ScoreCard, Cognos Metrics Manager, Geac Performance Management, Pbviews, Aris BSC и др.). Однако ССП, построенная на основе таких средств, как правило, содержит сведения о состоянии предприятия в прошлом и настоящем и не позволяет отследить изменение показателей ССП в зависимости от изменения эндо- и экзогенных факторов. Мониторинг и анализ деятельности ГП целесообразно строить с помощью имитационного моделирования, учитывая перечисленные перспективы ССП.

Имитационное моделирование деятельности ГП

Деятельность грузового порта может быть представлена в виде модели, отражающей следующую совокупность:

$$DGP = <OP, RP, Z, G, MF, PK>,$$

где OP – множество основных процессов, протекающих в порту; RP – множество собственных ресурсов порта, участвующих в погрузочно-разгрузочных работах; Z – множество заявок на осуществление погрузочно-разгрузочных работ, поступающих от клиентов порта; G – множество грузопотоков; MF – множество метеорологических факторов, влияющих на работу порта; PK – множество показателей деятельности порта.

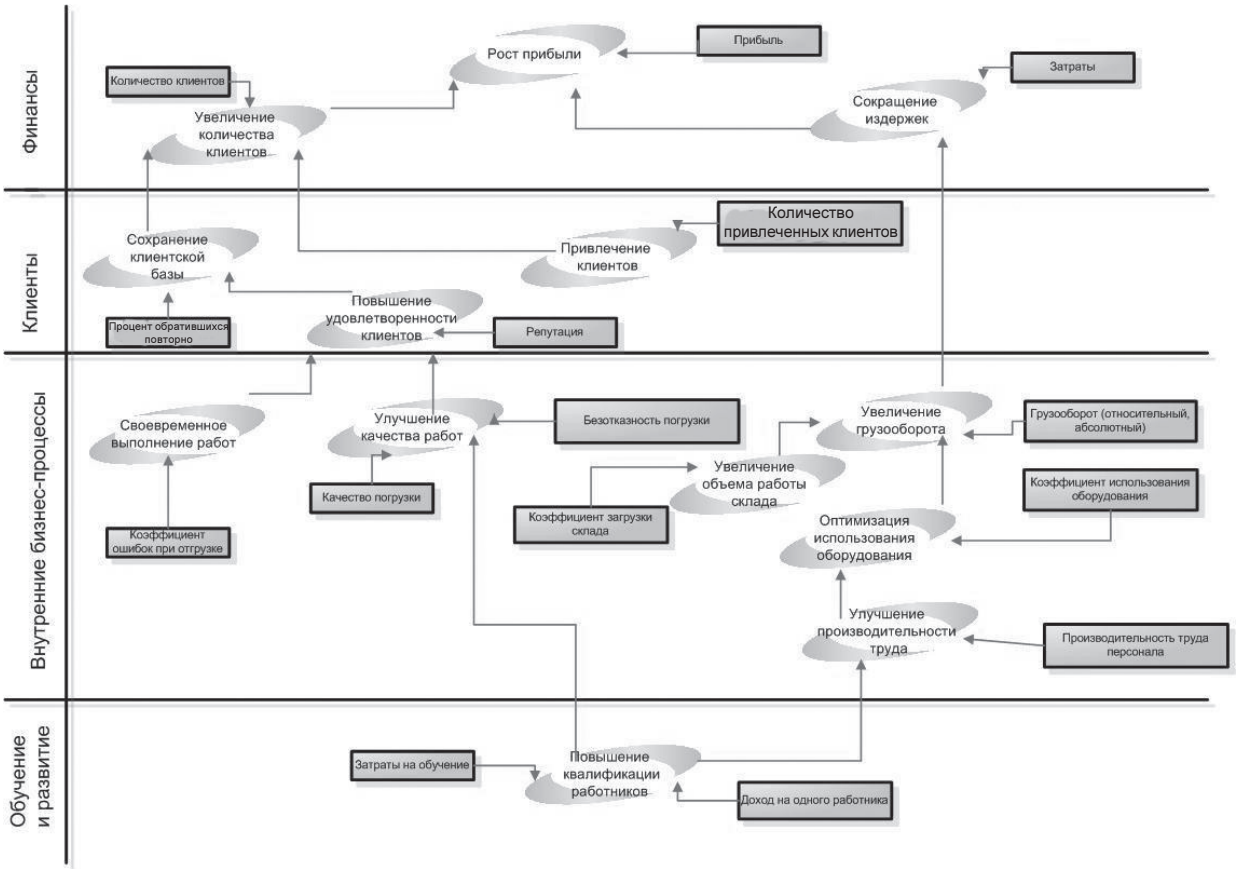


Рис. 1. Причинно-следственные связи в ССП ГП

Имитационная модель грузового порта предназначена для решения таких задач как: исследование влияния компонентов системы на её работу в целом (интенсивность прихода судов, занятость кранового оборудования, структура грузооборота, возможность аварийных ситуаций); проведение анализа полученных данных; моделирование поведения объекта в результате изменения входных параметров; проведение анализа эффективности управления грузовым портом на основе системы сбалансированных показателей.

Имитационная модель [3], разработанная в пакете имитационного моделирования Arena 8.0, представлена диаграммой SADT (IDEF0) (рис. 2). Входными данными являются: статистическая информация; данные о технологических процессах (структура грузооборота, тарифы на энергоносители, ставки оплаты труда рабочим в зависимости от вида груза); схематический план грузового района; информация о ресурсной базе порта; информация о влиянии внешних факторов (метеоусловия). Основными источниками получения данных стали статистическая отчётность порта по погрузоразгрузочным работам и опрос сотрудников.

Выходная информация представлена в виде стандартных отчётов Arena, формируемых с помощью генератора отчётов Crystal Report, а также разработанных в Visual Basic for Application специализированных отчётов: "Анализ деятельности порта на основе ССП"; "Результаты моделирования" (выводы о степени сбалансированности системы и рекомендации по проведению определенных мероприятий). Адекватность имитационной модели обоснована. Совокупность имитационной модели в сочетании с оценками экспертов ССП образуют систему поддержки принятия решений (СППР) для оценки деятельности грузового порта.

При запуске СППР отображается управляющая форма "Параметры моделирования" (рис. 3). Форма позволяет установить: даты начала и конца моделирования, время в днях, выбрать возможные факторы метеоусловий (ледостав, ветер, туман) и установить период их воздействия, изменить структуру грузооборота в процентном соотношении. Для имеющейся ресурсной базы порта возможно установление доли серьёзных поломок кранового оборудования.

Экранная "Расчётная форма" позволяет ввести расчётные данные о стоимости электроэнергии, топлива и т. п. В нижней части формы предусмотрен ввод базовых значений для таких показателей, как затраты. Форма "Ключевые показатели" (рис. 4) визуальна разделена на четыре

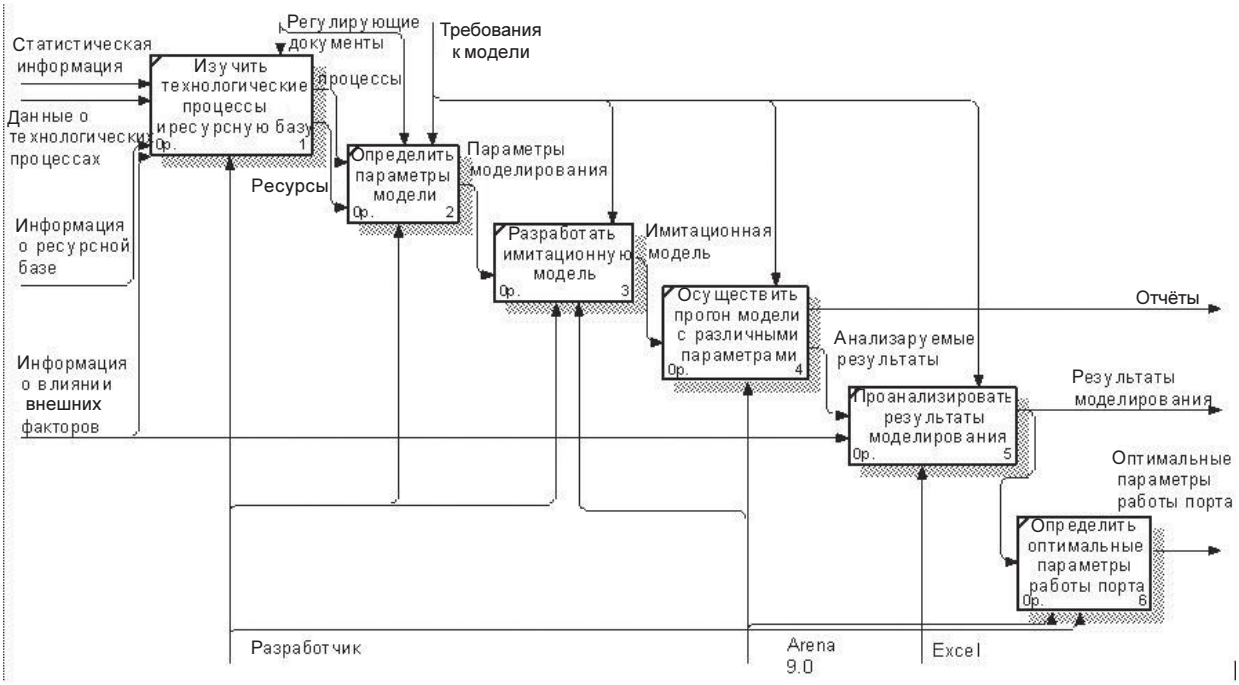


Рис. 2. Функциональная диаграмма SADT (IDEF0) имитационной модели

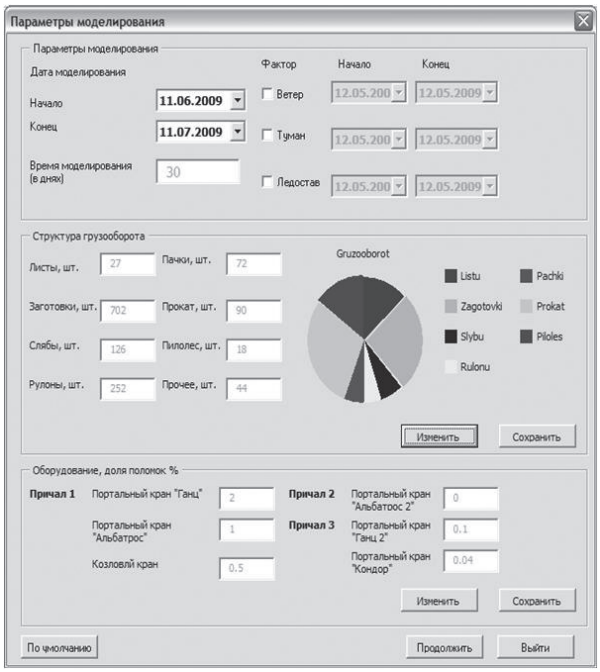


Рис. 3. Форма “Параметры моделирования”

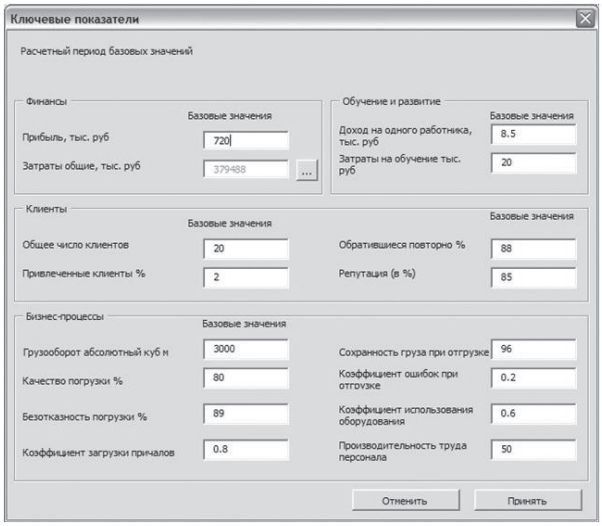


Рис. 4. Форма “Ключевые показатели”

перспективы: “Финансы”, “Обучение и развитие”, “Клиенты”, “Бизнес-процессы”, причём у каждой имеются свои ключевые показатели с базовыми значениями. Данные значения ключевых показателей можно изменять. После выбора кнопки “Принять” осуществляется запуск модели.

СППР формирует для каждого показателя оценку его состояния (рис. 5) и получает критериальные значения по четырём перспективам (финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие) в виде оценок “неудовлетворительно”, “удовлетворительно”, “хорошо”, “отлично”. Прогоны имитационной модели при различных входных параметрах позволяют получить различные значения показателей ССП, а также осуществить их мониторинг во времени.

Сбалансированное управление ГП

Оценку “сбалансированности” получаемых результатов будем производить исходя из величины дисперсии ($D_{сб}$) оценок параметров, характеризующих ГП [4]. Интервалы оценки критерия “сбалансированности” согласовываются с руководителями и показаны в табл. 3.

Таблица 3

Интервалы оценки критерия “сбалансированности”

Интервал значений дисперсий	Оценки
$1 < D_{сб} \geq 0{,}7$	Плохо
$0{,}7 < D_{сб} \geq 0{,}6$	Удовлетворительно
$0{,}6 < D_{сб} \geq 0{,}4$	Хорошо
$0{,}4 < D_{сб}$	Отлично

Будем считать, что табл. 3 согласована. СППР рассчитывает значения $D_{сб}$ исходя из оценок показателей (см. рис. 5). Тогда среднее значение всех оценок составит

$$M_{сб} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i,$$

где x_i – согласованная критериальная оценка показателя; n – количество показателей,

$$D_{сб} = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - M_{сб})^2.$$

Исходя из значения $D_{сб}$ и табл. 3 СППР определяет оценку критерия “сбалансированность”.

В статье предложена и формализована сбалансированная система показателей в качестве инструмента мониторинга, отличающаяся объединением финансовых и нефинансовых индикаторов с учётом специфики ГП. Разработана стратегическая карта ГП, отображающая причинно-следственные связи ССП. Предложен подход к оценке эффективности деятельности ГП, отличающийся использованием его имитационной модели и основанный на показателях эффективности стратегического и оперативного планирования, что позволяет своевременно проводить анализ и улучшение деятельности ГП. Сформулирован подход к оценке

Финансы						
Цель	**Показатель**	**Базовое значение**	**Полученное значение**	**Единица измерения**	**Оценка показателя**	**Результат**
Рост прибыли	Прибыль	3900500	4672019,97	руб.	5	Отлично
Сокращение издержек	**Затраты, в том числе**	488988	536493,96	руб.	1	Неудовлетворительно
	Затраты на амортизацию кранового оборудования	12500	85305,17	руб.	1	Неудовлетворительно
	Затраты на амортизацию складских погрузчиков	24000	23364,84	руб.	2	Удовлетворительно
	Затраты на топливо	26600	1087	руб.	5	Отлично
	Затраты на электроэнергию	25444	1384	руб.	5	Отлично
	Затраты на ремонт оборудования	50444	48361	руб.	2	Удовлетворительно
	Затраты на зарплату	350000	320502,95	руб.	2	Удовлетворительно
	Затраты на складирование	138992	104850	руб.	2	Удовлетворительно
Увеличение количества клиентов	Количество клиентов	20	21	чел.	5	Отлично

Клиенты						
Цель	**Показатель**	**Базовое значение**	**Полученное значение**	**Единица измерения**	**Оценка показателя**	**Результат**
Привлечение клиентов	Количество привлеченных КЛ	2	4,76	%	5	Отлично
Сохранение клиентсекой базы	Процент клиентов, обратившихся повторно	88	76,19	%	4	Хорошо
Повышение удовлетворенности клиентов	Репутация	85	93	%	5	Отлично

Внутренние бизнес-процессы						
Цель	**Показатель**	**Базовое значение**	**Полученное значение**	**Единица измерения**	**Оценка показателя**	**Результат**
Улучшение качества работ	Качество погрузки	80	70,55	%	4	Хорошо
	Безотказность погрузки	89	100	%	5	
Своевременное выполнение работ	Сохранность груза при отгрузке	80	95	%	5	Отлично
	Коэффициент ошибок при отгрузке	0,8	0,07		5	Отлично
Увеличение грузооборота	Грузооборот	30200	35108,25	т	5	Отлично
Увеличение объема работы склада	Коэффициент загрузки причало	0,2	0,05		1	Неудовлетворительно
Оптимизация использования оборудования	Коэффициент использования об	0,6	0,67		5	Отлично
Улучшение производительности труда	Производительность труда персонала	50	292,57	т /чел.	5	Отлично

Обучение и развитие						
Цель	**Показатель**	**Базовое значение**	**Полученное значение**	**Единица измерения**	**Оценка показателя**	**Результат**
Повышение квалификации работников	Затраты на обучение	8500	9362,77	руб.	1	Неудовлетворительно
	Доход/выпуск на одного работника	7800	15958,3	руб.	5	Отлично

Вывод: Анализ деятельности предприятия на основе сбалансированной системы показателей показал, что в целом ключевые показатели по всем четырём перспективам можно оценить как ожидаемое, т. е. значение планируемых показателей было достигнуто. Но рекомендуется обратить внимание на следующие показатели: Затраты на амортизацию кранового оборудования=неудовлетворительно; Затраты на амортизацию складских погрузчиков=удовлетворительно; Затраты на ремонт оборудования=удовлетворительно; Затраты на зарплату=удовлетворительно; Затраты на складирование=удовлетворительно; Коэффициент загрузки причалов=неудовлетворительно; Затраты на обучение=неудовлетворительно.

Рис. 5. Отчёт "Анализ деятельности порта на основе ССП"

сбалансированности ССП исходя из величины дисперсии входящих в неё оценок. Результаты работы представляют определённый интерес, поскольку идея интеграции сбалансированной системы показателей и имитационного моделирования с целью определения эффективности деятельности в перспективе применима на предприятиях любой отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кельтон В., Лоу А.** Имитационное моделирование. Классика CS. СПб.: Питер; Киев: Изд. группа BHV. 2004. 847 с.

2. **Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П.** Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. М.: ЗАО "Олимп-Бизнес". 2006. 320 с.

3. Св. об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2009614926, РФ Аналитическая система поддержки управленческих решений в грузовом порту на основе BALANCED SCORECARD / Ханова А.А., Потапова Е.С.; правообладатель Астр. гос. техн. ун-т. № 2009613795; дата поступл. 15.07.2009; дата регистр. 10.09.2009.

4. **Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф.** Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности. М.: СИНТЕГ. 2005. 592 с.

УДК 004.8

А.Ю. Атисков, Е.Л. Евневич

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ К ЗАДАЧЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ДИАГРАММ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Развитие информационных систем порождает всё большее количество нотаций проектирования бизнес-процессов, которые бы поддерживали разработку программного обеспечения. Однако из-за обилия стандартов возникают проблемы их несогласованности, имеющие отношение к одному и тому разрезу информационной системы, проблемы переиспользования уже имеющихся наработок и их адаптации к современным стандартам [1, 2]. Цель данной статьи – показать применение теории графовых преобразований, предложенной профессором Гартмутом Эхригом [6], к задаче трансформации диаграмм бизнес-процессов IDEF0 в диаграммы классов UML.

В работе [3] предложен способ декларативного преобразования, имеющий целью решить данные проблемы и позволяющий получить инструмент проектирования, который может быть легко адаптирован к последующим изменениям нотаций или появлениям новых. При использовании данной технологии исходная и конечная нотации моделирования описываются с помощью онтологий, а на основе получаемых сущностей (по RDF-файлу) строятся правила трансформации с помощью стандартного средства запросов SPARQL. Исходная и конечная диаграммы переводятся формат онтологического описания с помощью пост- и препроцессинга независимым программным модулем.

По результатам исследования возможности преобразования нотации IDEF0 в нотацию классов UML было создано несколько вариантов программных реализаций, позволяющих проводить такую трансформацию. Сравнение их между собой и с имеющимися средствами трансформации (такими, как TOOLSET Rational Rose-Erwin) показало, что:

программное средство трансформации должно быть открытым;

правила трансформации должны строиться по шаблону;

технология трансформации должна быть независима от исходных и конечных данных;

должна быть возможность математического обоснования применяемых методов;

желательно наличие кросс-платформенности реализации программного средства и визуального представления правил трансформации.

Диаграммы проектирования можно с небольшими допущениями представить как графы, а для автоматизации трансформации графов существуют специализированные математические пакеты прикладных программ (такие, как AGG, GReAT) [4]. Для их применения требуется описание нотаций в виде, воспринимаемом конкретным пакетом; также нужно написать программное обеспечение для перевода конкретных диаграмм в формат, который бы этот пакет воспринял, и программное обеспечение для перевода получившегося результата после трансформации в формат для дальнейшей работы в средстве моделирования, поддерживающем конечную нотацию. Однако существуют такие правила, которые не укладываются в строгость математического описания (как, например, не укладывается механизм исключений в теорию графов) [5].

Пример такого правила в задаче преобразования IDEF0 в UML – "каждый блок должен иметь хотя бы одну управляющую и одну исходящую дугу". При этом исполнитель метода не всегда определён. В таких случаях в качестве исполнителя "следует брать ближайший механизм на родительской диаграмме или преобразовывать название блока в класс с одним методом" [3]. То есть для выполнения правила может не хватать начальных условий и требуется их дополнить.

Кроме того, поддержка и переиспользование уже созданных описаний из математических пакетов – очень трудоёмкий процесс. Всё это приводит к тому, что они не используются в практических целях в релизах коммерческих продуктов.

Алгоритм графовых преобразований

В 1970 году профессор Гартмут Эхриг предложил теорию графовых преобразований [6], которая была развита в 1990-х годах. Он ввёл понятие графовых трансформаций и уточнил само понятие графа для применения трансформации.

Основная идея графовых преобразований заключается в модификации графов, основанной на правилах. Ядром правила (продукцией) $p = (L, R)$ является пара графов (L, R), известных как левосторонний граф L и правосторонний R (рис. 1). Применение правила $p = (L, R)$ означает "найти соответствие L в исходном графе и заменить L на R, что приведет к целевому графу" [7].

Один из основных подходов к трансформации графов – подход на основе двойного выталкивания. Для его моделирования используются

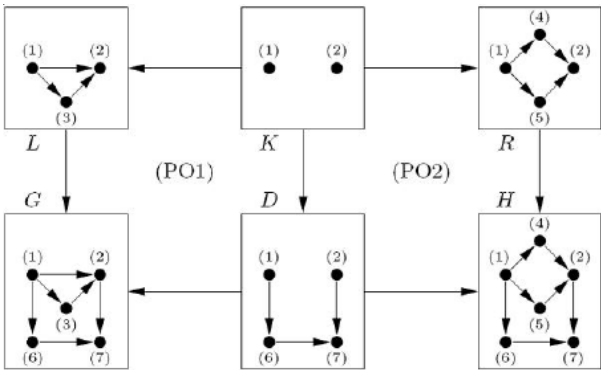


Рис. 1. Иллюстрация трансформации графов

две склеивающие конструкции. Ядро правила определяется как $p = (L, K, R)$, где L описывает предусловия правила, R описывает постусловия правила, K описывает часть графа, которая должна существовать для применения правила, $L \setminus K$ описывает часть, которая должна быть удалена, $R \setminus K$ описывает часть, которая должна быть создана.

Алгоритм пошагового выполнения процесса двойного выталкивания:

1. Найти m – сохраняющее структуру совпадение для левосторонней части L в G.
2. Создать контекстный граф $D = (G \setminus m(L) \cup m(K))$.
3. Проверить склеивающие условия (склеивающее условие – множество вершин S_b в L, которые являются исходными в $G \setminus L$, известные как граничные точки, и вершины в K, известные как склеивающие точки S_k, должны удовлетворять условию S_b принадлежит S_k).
4. Добавить R через K в D, чтобы получить H, такое, что $H = (R +_k D)$.

Так как K содержится в (L, R, D), можно заключить, что существуют морфизмы $K \to L$, $K \to D$, $K \to R$ и выталкивающие конструкции $G = (L +_k D)$ и $H = (R +_k D)$.

Для применения данной теории к технологии [3] представим входную и выходную нотацию в виде графов (их семантическое описание приведено в [8]) и построим для каждого правила свой граф преобразований $(L\text{-}K\text{-}R)$.

Пример формального описания правил трансформации

Иллюстрации показаны в виде UML-диаграмм представления, которое формируется внутри программы для конкретного элемента описания. Пусть мы имеем простейшую диаграмму IDEF0 (рис. 2). Её внутреннее представление после при-

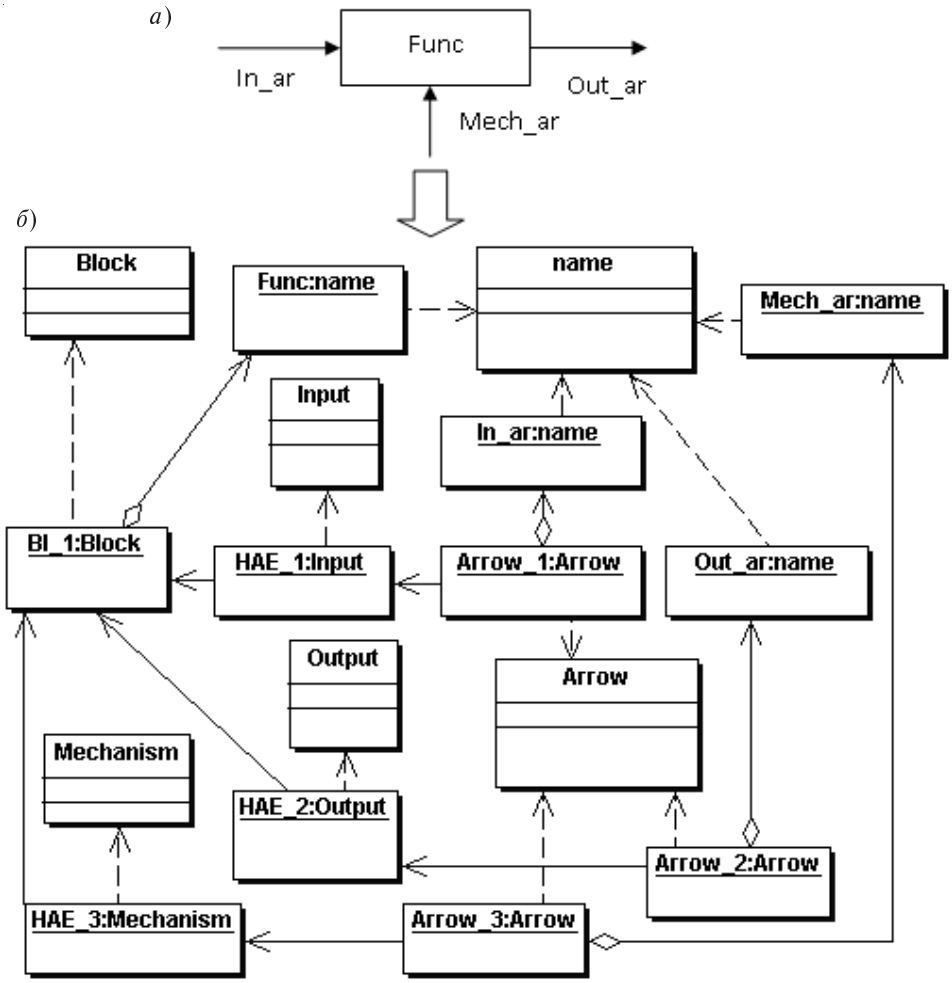


Рис. 2. Пример входной диаграммы IDEF0 (*а*) и её внутреннего представления (*б*)
In_ar – вход, Out_ar – выход, Mech_ar – механизм, Func – имя функционального блока

ведения к формату на основе онтологического описания нотации IDEF0 соответствует графу *G* в основном алгоритме графовых преобразований Ehrig.

Рассмотрим построение правила "все стрелки IDEF0 являются классами в UML" [3]. Графы *L, K* и *R* представлены на рис. 3.

Более сложное правило "все функциональные блоки в IDEF0 являются методами класса механизма в UML" обладает комплексными графами, так как опирается на предыдущее правило (рис. 4).

После проведения преобразования входного графа (см. рис. 2) на основе этих двух правил (см. рис. 3 и 4), получаемое внутреннее представление выходной диаграммы принимает вид, представленный на рис. 5.

Так как внутреннее представление (граф *H*) все еще отражает онтологическое описание нотации UML, его нужно обработать парсером выходного формата. И тогда полученный файл с диаграммой UML можно открыть в редакторе UML-диаграмм. Графическое представление после обработки результата парсером выходного формата приведено на рис. 5. Те же два правила, раскрытые для прямого манипулирования данными в онтологическом формате [9], выглядят так:

```
1)
SELECT ?s
    WHERE{
            ?o rdf:type tf:Arrow.
            ?o tf:name ?s.
    }
2)
SELECT DISTINCT ?arrow ?s
    WHERE {
    ?arrow a tf:Arrow.
    ?mechanism a tf:Mechanism.
    ?arrow tf:hasArrowEnd ?mechanism.
    ?arrow tf:name ?s.
    }
```

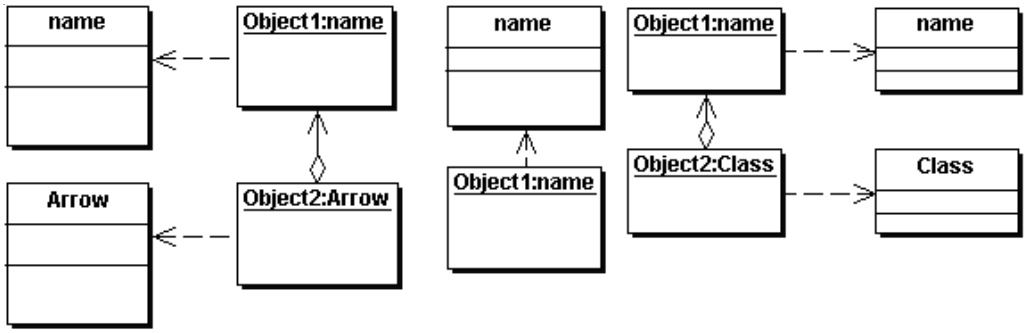


Рис. 3. Графы *L*, *K* и *R* для первого правила

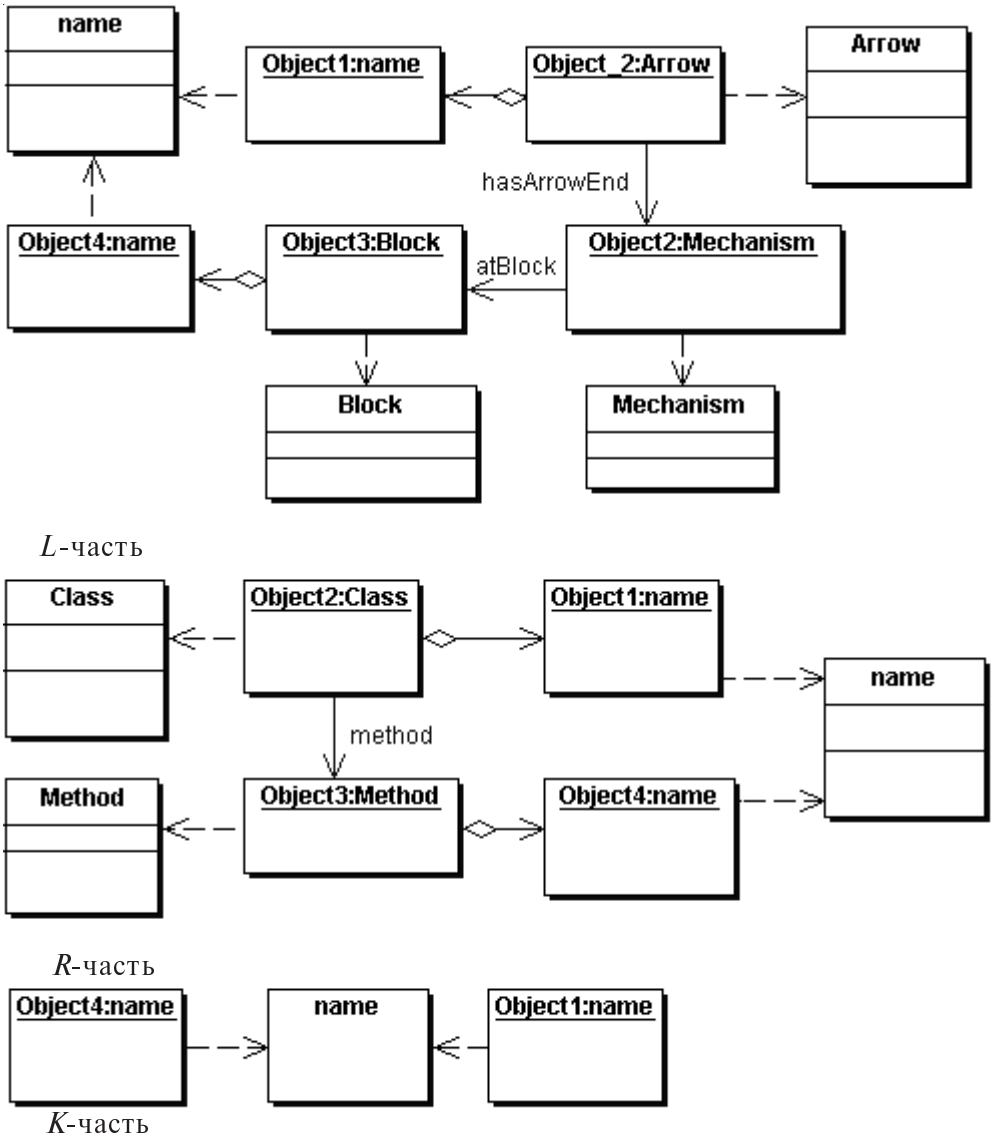


Рис. 4. Графы *L*, *K* и *R* для правила "все функциональные блоки в IDEF0 являются методами класса механизма в UML"

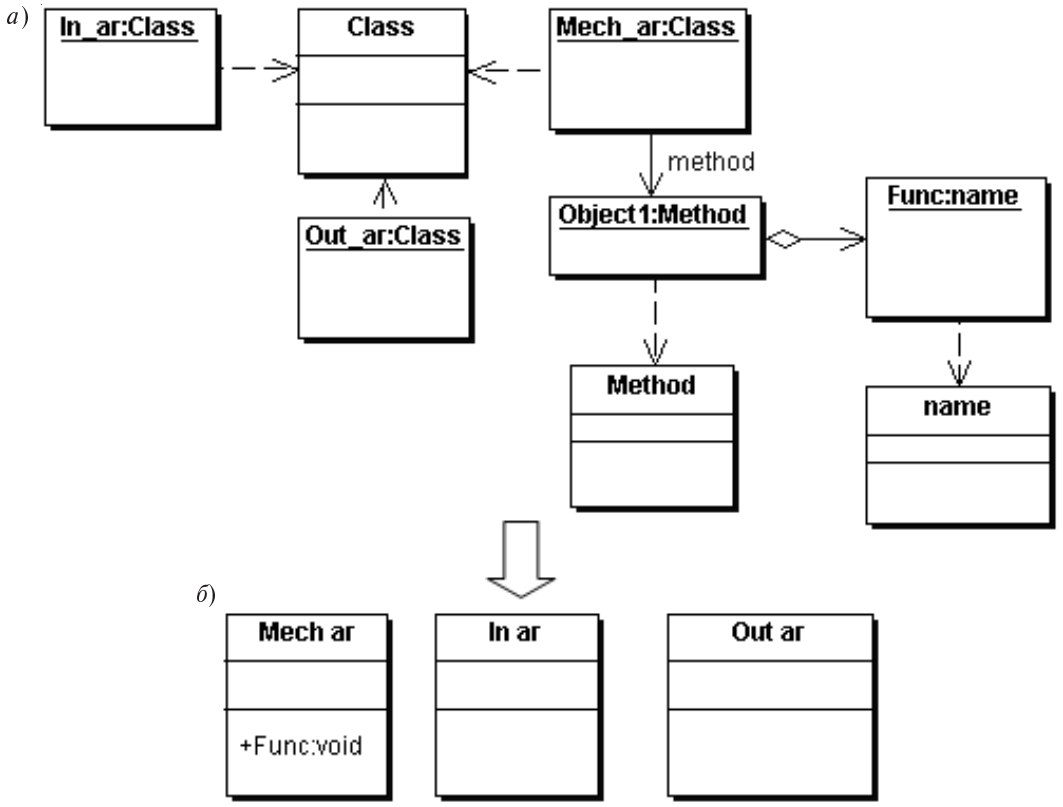


Рис. 5. Выходная диаграмма (*б*), построенная на основе примера входной диаграммы IDEF0 и двух правил трансформации в редакторе Borland Together Architect, и её внутреннее представление (*а*)

Видно, насколько проще создавать правила в текстовой форме, а не в виде визуального оформления. Появляется большая свобода в манипулировании выходными данными (например, добавление префиксов в получаемые названия новых элементов).

В предложенном авторами подходе существует возможность изменять не только логику модулей, но и их технологические основы. Например, использовать не только RDF-формат онтологического описания, а например IDL или иной формат на основе XML. В коммерческих продуктах при появлении новых элементов, связей, нотаций нельзя построить правила трансформации для их поддержки – требуется ждать новых релизов. Этим объясняется, почему существует значительный промежуток времени между появлением стандарта и его программной поддержкой. Предлагаемая автоматизированная система позволяет производить редактирование, обмен знаниями о представлении диаграмм проектирования. Ещё одно её существенное преимущество состоит в том, что онтологическое описание можно применить к любым нотациям, а не только в рамках UML и IDEF. Сейчас наиболее приоритетным становится преобразование имеющихся диаграмм проектирования в современную нотацию WS-BPEL [10]. Для решения такой задачи в соответствии с предложенной авторами технологией требуется:

описать данную нотацию в онтологическом формате;

построить правила трансформации в другую нотацию (или из другой нотации);

адаптировать коммерческие форматы представления (если потребуется) к формату RDF.

В результате полученная система трансформации позволяет интегрировать проектирование на основе нотации WS-BPEL с моделированием бизнес-процессов IDEF0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Cretu L.G.** Enterprise Engineering: The Power of Standards. [Электронный ресурс]: Managing Information in the Digital Economy: Issues & Solutions // Proc. of the 6th IBIMA Conf.; Khalid S. Soliman (ed.). 2006. Bonn, Germany. <http://www.oracle.com/technology/products/ias/bpel/pdf/bpm.closedloop.pdf> (по состоянию на 12.10.2009).

2. **Nainani B.** Closed Loop BPM using Standards based tools. [Электронный ресурс]: An Oracle White Paper, November 2004 // <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=922242> (по состоянию на 12.10.2009).

3. **Атисков А.Ю., Воробьев В.И.** Автоматизированная система трансформации диаграмм бизнес-процессов в диаграммы классов // Труды СПИИРАН. Вып. 3. Т. 2. СПб.: Наука. 2006. С. 146–155.

4. **Taentzer G., Ehrig K.** Model Transformation by Graph Transformation: A Comparative Study. [Электронный ресурс]: Model Transformations in Practice Workshop. 2005 // <http://sosym.dcs.kcl.ac.uk/events/mtip05/submissions/taentzer_ehrig_guerra_de_lara_engyel_levendovszky_prange_varro_varro-gyapay__model_transformation_by_graph_transformation_a_comparative_study.pdf> (по состоянию на 12.10.2009).

5. **Михеев А., Орлов М.** Война стандартов в мире workflow. [Электронный ресурс]: ECM-Journal, 2007 // <http://www.directum-journal.ru/print/Vojjna-standartov-v-mire-workflow.aspx> (по состоянию на 12.10.2009).

6. **Ehrig H., Ehrig K., Prange U., Taentzer G.** Fundamentals of Algebraic Graph Transformation. [Электронный ресурс]: Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series, 2006 // <http://www.springer.com/computer/foundations/book/978-3-540-31187-4> (по состоянию на 12.10.2009).

7. **Ehrig H., Prange U.** Modeling with Graph Transformations. [Электронный ресурс]: Publication of Technical University of Berlin, Germany, 2006 // <http://tfs.cs.tu-berlin.de/publikationen/Papers06/EP06a.pdf> (по состоянию на 12.10.2009).

8. **Атисков А.Ю., Перминов С.В.** Гибридная адаптивная технология проектирования бизнес-процессов // Труды СПИИРАН. Вып. 4. СПб.: Наука. 2007. С. 160–168.

9. **Воробьев В.И., Перминов С.В., Атисков А.Ю.** Декларативные способы преобразования исходных данных в онтологии // Онтологическое моделирование / РАН. Институт проблем информатики. М. 2008. С. 267–277.

10. **Barreto C., Bullard V., Erl T.** et al. Web Services Business Process Execution Language Version 2.0. [Электронный ресурс]: Primer, 2007 // <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/23964/wsbpel-v2.0-primer.htm> (по состоянию на 12.10.2009).

УДК 681.3.06

Е.А. Макарова

ДИНАМИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ И БАНКА ПРИ ПОГАШЕНИИ КРЕДИТА

Обеспечение эффективности управления инвестиционными процессами на предприятии в условиях кредитования предполагает предварительный анализ рисков и прогнозирование финансового состояния предприятия, реализующего инвестиционный проект [1]. Одним из наиболее предпочтительных методических инструментариев решения этой проблемы считается имитационное моделирование, которое позволяет выполнять многократную имитацию различных сценариев управления реализацией инвестиционного проекта (ИП) и формировать рациональные решения для реализации желаемого сценария [2].

В целях обеспечения поддержки принятия решения руководителем предприятия разработана система имитационного моделирования (СИМ) процессом реализации ИП на предприятии. Особенности предлагаемой динамической модели реализации ИП, положенной в основу построения СИМ, состоят в моделировании динамики неравновесных процессов формирования, распределения, расходования и накопления денежных потоков, а также погашения долга по кредиту с учётом ограниченной суммы накопленных денежных средств. Модель разработана в классе дискретно-непрерывных нелинейных

моделей с логическими элементами, функционирующих в автоматическом и автоматизированном режимах [3].

Согласно концептуальным основам моделирования исследуется движение разнонаправленных и неравномерно распределенных во времени денежных потоков в виде темпов расходов и доходов предприятия в условиях ограниченности ресурсов. Показано, что важен не только анализ денежных потоков, но и анализ накопленной суммы денежных средств, размер которой учитывается и при получении кредита с целью финансовых вложений в новое производство, и при управлении производством, а также при выплате долга [3, 4].

Особенности моделируемого процесса взаимодействия предприятия, реализующего ИП, и банка, предоставляющего кредит, состоят в следующем. С целью освоения нового производства предприятие приобретает кредит и планирует расход собственных и заёмных средств на выполнение всех видов своей деятельности. Процесс выпуска и реализации продукции предприятием по основному (существующему) производству рассматривается как производственная деятельность. В качестве инвестиционной деятельности рассматриваются процессы, связанные с запуском нового, инвестиционного, производства, результатом которого становится выпуск и реализация новой продукции. Финансовая деятельность рассматривается только в аспекте приобретения кредита для нового производства и его погашения. Получаемые от реализации продукции доходы накапливаются и вновь используются для закупки ресурсов, необходимых предприятию в последующие периоды времени, а также для погашения долга по кредиту. Таким образом формируется *кругооборот денежных потоков* с различным темпом, ограниченным накопленной суммой денежных средств предприятия.

Деятельность банка, который предоставляет кредит, формирует график возврата кредита, а также вносит по согласованию с предприятием корректировки в график предоставления и возврата кредита в зависимости от ситуаций, рассматривается как воздействие внешней среды. Управление процессом реализации ИП предполагает, что предприятие по согласованию с банком может корректировать фактические потоки погашения кредита и распределять потоки денежных средств между основным и инвестиционным производствами в зависимости от производственно-рыночных ситуаций.

Динамическая модель реализации ИП, описывающая перечисленные процессы, включает следующие подмодели: формирования и корректировки плановых темпов расхода ресурсов; производства и реализации продукции по основному производству; производства и реализации продукции по инвестиционному производству; определения налогов и чистой прибыли; формирования чистого денежного потока и накопления денежных средств; погашения кредита. Первые пять моделей реализованы с помощью типовых динамических звеньев приложения Simulink среды MATLAB, а модель погашения кредита реализована на языке MATLAB. В статье рассматриваются особенности программной реализации этой модели, встроенной в СИМ процесса реализации ИП.

Основные положения, принятые при разработке модели погашения кредита, состоят в следующем. Во-первых, несмотря на то что реальные выплаты производятся одномоментно, что должно было бы моделироваться импульсами, в модели принимается допущение, согласно которому каждая выплата представляется в виде ступенчатого сигнала длительностью в одну единицу модельного времени и высотой, равной величине выплаты. Такое представление платежа позволяет привести в соответствие входы и выходы всех подмоделей и корректно выполнить расчёты чистого денежного потока (ЧДП).

Во-вторых, допускается возможность принятия решений по корректировке планового графика платежей. Предполагается, что отличия фактического графика погашения кредита от планового состоят только в размере текущих платежей, плановое время платежей считается неизменным. Принятие решений в модели реализуется в автоматизированном режиме, когда человек в процессе диалога может изменить сумму текущего платежа, при этом расчёт нового, скорректированного, графика платежей на оставшийся период осуществляется автоматически.

В-третьих, независимо от выбранного метода расчёта графика платежей при расчёте и перерасчёте размера текущего платежа возникает необходимость использовать значения ряда параметров модели, которые были рассчитаны

ранее на момент предыдущей выплаты, а также считать количество выплат. Реализовать такой алгоритм с помощью типовых динамических звеньев, а также блока MATLAB function невозможно, так как они не обладают памятью. Поэтому предложено использовать блок S-function компонента Simulink среды MATLAB, логика работы которого реализуется на языке MATLAB. Возможностями блока являются: получение от компонента Simulink значения текущего времени моделирования t, в зависимости от которого выполняются различные части алгоритма; создание глобальных переменных, которые хранят свои значения в течение всего времени моделирования. Таким образом, динамическая модель погашения кредита реализована программно в виде блока Payment типа S-function и встроена в схему динамической модели реализации ИП. Входом блока является сумма $C(t)$ накопленных денежных средств, выходами – темп PMT(t) формирования фактических выплат. Алгоритм функционирования блока Payment основан на методе Ринга для расчёта платежей и состоит из следующих шагов.

Ш а г 1. Задаются начальные значения: суммы $PV(t)$ основного долга, годовой процентной ставки r, срока предоставления кредита n (в годах) и количества планируемых выплат в году m.

Ш а г 2. Проверяется условие равенства нулю текущего времени моделирования: $t = 0$. При справедливости его выполняются: расчёт количества платёжных периодов $N_{pay} = m\,n$ и длительности платёжного периода t_{pay} (за единицу модельного времени принят месяц); создание вектора $T_{pay}[N_{pay}]$, элементами его являются номера месяцев, в которые должны производиться выплаты. Отметим, что в процессе моделирования, если производится очередная выплата, соответствующий элемент вектора T_{pay}, равный номеру месяца этой выплаты, удаляется. Количество элементов в векторе T_{pay} в текущий момент времени свидетельствует о количестве оставшихся выплат.

Ш а г 3. Проверяется условие равенства текущего времени моделирования t предстоящему месяцу выплаты: $t = T_{pay}[1]$. Если равенство не выполняется, алгоритм завершается.

Ш а г 4. Если это равенство оказывается справедливым, то выполняются следующие действия.

Ш а г 4.1. Из вектора T_{pay} удаляется элемент, соответствующий текущей выплате.

Ш а г 4.2. Рассчитывается текущий платёж $PMT(t)$ по формуле $PMT(t) = PRN(t) + Int(t)$, где $PRN(t)$ – текущая сумма погашения основного долга, рассчитывается по формуле $PRN(t) = PV(t)/N_{pay}$; $Int(t)$ – текущая величина процентов банка, расчёт которых производится по формуле $Int(t) = r/m \cdot Ost(t)$. Остаток долга на начало платёжного периода $Ost(t)$ вычисляется по формуле $Ost(t) = PV(t) - N_{pay}^{old} \cdot PRN(t)$, где N_{pay}^{old} – количество предыдущих выплат.

Ш а г 4.3. Производится анализ достаточности денежных средств $C(t)$, для текущей выплаты: $PMT(t) < C(t) - \delta(t)$, где $\delta(t)$ – минимально необходимый уровень запасов, требуемый для обеспечения функционирования основного и инвестиционного производств в течение следующей единицы модельного времени.

Ш а г 4.3.1. В случае достаточности средств организуется диалог с пользователем, в котором предлагается принять решение по корректировке размера текущей выплаты $PMT(t)$.
Ш а г 4.3.1.1. Если пользователь отказывается от корректировки, перерасчет графика выплат не производится. Алгоритм завершается. Ш а г 4.3.1.2. Если пользователь соглашается на корректировку и вводит новое значение выплаты $PMT_{new}(t)$, то проверяется условие $PMT(t) < PMT_{new}(t) < C(t) - \delta(t)$, поскольку в этой ситуации предлагаемая корректировка возможна только в сторону увеличения размера выплаты. Далее оставшаяся сумма основного долга $PV(t)$ пересчитывается, при этом дополнительная выплата относится к погашению суммы основного долга $PRN_{new}(t)$, которая корректируется по формуле $PRN_{new}(t) = PMT_{new}(t) - Int(t)$, причем $Int(t)$ – ранее рассчитано и не изменяется. Перерасчёт величины долга $PV(t)$ осуществляется по формуле $PV(t) = Ost(t) - PRN_{new}(t)$ и принимается равным остатку долга на конец платёжного периода. Количество платёжных периодов N_{pay} задается равным количеству оставшихся выплат, т. е. текущей длине вектора T_{pay}. Алгоритм завершается.

Ш а г 4.3.2. Если в результате анализа достаточности денежных средств оказалось, что их недостаточно для текущей выплаты, то пользователю предлагается два варианта принимаемых решений. Ш а г 4.3.2.1. Первый вариант предполагает выплату денежных средств в размере максимально возможной: $PMT_{new}(t) = C(t) - \delta(t)$. Такое решение целесообразно, если предполагается поступление достаточных денежных средств

для обеспечения производства в ближайшей перспективе. Ш а г 4.3.2.2. Второй вариант предполагает ввести сумму, меньшую максимально возможной. Однако уменьшение выплаты может быть ограниченным, так как обязательным считается погашение платежа по процентам банка $Int(t)$. Поэтому при вводе меньшего значения платежа $PMT_{new}(t)$ производится проверка ограничений: $Int(t) < PMT_{new}(t) < C(t) - \delta(t)$. Перерасчёт новой суммы долга $PV(t)$ производится аналогично. Алгоритм завершен.

Отметим, что значения суммы кредита $PV(t)$ и текущей суммы погашения основного долга $PRN(t)$ постоянны в пределах одного варианта расчёта графика платежей и изменяются в моменты времени принятия решений по корректировке платежей. Значения процентов банка $Int(t)$ и остатка долга $Ost(t)$ постоянны в течение одного платёжного периода и перерасчитываются при наступлении времени очередной выплаты. Сохранение значений перечисленных переменных неизменными и в промежутках между названными моментами времени обеспечивается путём объявления их как глобальных в блоке S-function. Отметим, что величина $PMT(t)$, являющаяся выходом блока Payment, “стробируется” для преобразования к требуемому виду с целью корректного расчета ЧДП.

Таким образом, предлагаемая динамическая модель погашения кредита позволяет, во-первых, на каждом шаге моделирования выполнять только одну операцию – сравнение текущего времени моделирования с временем выплаты; во-вторых, только при наступлении времени платежа выполнять расчёты и при желании пользователя перерасчёты текущих платежей, обеспечивая согласование дискретных процессов выплат и непрерывных процессов преобразования потоков в процессе производства. Подобные динамические модели используются при разработке алгоритмов управления процессом обновления производства в условиях инвестиционного кредитования, а также могут быть использованы при моделировании динамики инвестиционных процессов экономических систем и более высокого уровня для описания инвариантных по отношению к уровню динамических механизмов инвестирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Москвин В.А.** Управление рисками при реализации инвестиционных проектов. М.: Финансы и статистика. 2004. 352 с.

2. **Горбунов А.Р.** Управление финансовыми потоками. Изд 5-е, доп. и перераб. М.: Глобус. 2004. 240 с.

3. **Макарова Е.А., Зимина Г.А.** Методология исследования и моделирования динамики реализации инвестиционного проекта // Мехатроника, автоматизация, управление. М.: Новые технологии. 2007. № 9 (78). С. 32–37.

4. **Бертонеш М., Найт Р.** Управление денежными потоками. СПб.: Питер. 2004. 240 с.

УДК 001.8

С.М. Родина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ОЦЕНКЕ НЕДВИЖИМОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЖИЛЬЯ)

Рынок недвижимости является социально-экономическим объектом. Если рассматривать недвижимость не как натуральный объект, призванный выполнить свою функцию, а как финансовый инструмент – объект вложения капитала, то сразу возникает необходимость установления стоимости этого финансового инструмента. То есть проведение оценки недвижимости, причём оценки как текущей (актуальной) стоимости, так и прогнозной стоимости в будущем.

Для оценки рыночной стоимости нередко приходится вносить поправки в изначальную цену недвижимости. Одной из важных проблем в этой сфере является автоматизация оценки и

создание программных комплексов определения стоимости недвижимости. Для того чтобы выработать обоснованную оценку стоимости, необходимо собрать информацию по соответствующему рынку недвижимости.

Использование метода нечёткой логики дает ряд преимуществ, т. к. позволяет [5, 6]:

включать в анализ качественные переменные;

оперировать нечеткими входными данными;

оперировать лингвистическими критериями;

быстро моделировать сложные динамические системы и сравнивать их с заданной степенью точности;

преодолевать недостатки и ограничения существующих методов оценки объектов недвижимости.

Недостатки метода:

существует субъективность в выборе функций принадлежности и формировании правил нечёткого ввода;

отсутствие информированности о методе, а также незначительное внимание к применению метода профессиональными учреждениями оценки недвижимости;

необходимость специального программного обеспечения, а также специалистов, умеющих с ним работать.

Несмотря на недостатки и ограничения теории, метод нечёткой логики получил признание крупнейших международных компаний как перспективный и дающий точные результаты. Для России и развивающихся рынков использование метода нечёткой логики особо перспективно. Анализ стоимости объектов недвижимости на основе известных методов оценки жилья для большей части, недавно образовавшихся фирм, неприменимо, т. к. нет накопленной статистической информации для получения объективных оценок.

Таким образом, метод нечёткой логики не исключает применение статистических методов, и становится инструментом, когда другие подходы к оценке недвижимости неприменимы.

Стоимость объектов недвижимости – это особо высокая неопределенность. Как известно, существует много методов учёта стоимости, но, ни один из них не дает исчерпывающей и глобальной оценки для расчёта стоимости объектов недвижимости.

Рассмотрим задачу покупки недвижимости, в качестве которой возьмём жилье как наиболее широко распространенный вариант оценки недвижимости в настоящее время. Покупатель выбирает в качестве основных факторов район и улицу, на которой расположены объекты недвижимости для продажи. В первую очередь, выбор покупателя зависит от его предпочтений (близости к месту работы, учебы и т. д.). В данной задаче расчёта стоимости жилья критерии район и улица являются главными. Но покупатель не обладает никакой информацией, насколько благоприятный это район с экологической точки зрения, и существуют ли на этой улице объекты социального назначения. То есть выбор данных района и улицы связан с неопределённостью. Предположим также, что степень своей удовлетворённости от выбранного района и улицы выражается в стоимости данного объекта. Как правильно рассчитать стоимость жилья для покупателя в зависимости от его требований и будет ли эта стоимость обоснованна и реальна? Данная задача решается в несколько этапов. При этом основой для расчёта стоимости жилья для рассматриваемого объекта недвижимости покупателем были выделены критерии: “район” и “улица”.

Как показано на рис. 1, каждая из основных групп критериев оценки зависит от последующих факторов влияния на стоимость. Каждый из факторов влияния на стоимость независимый. Так, например, экологическая обстановка в районе может воздействовать как на повышение так и на понижение стоимости, т. к. это в первую очередь связано со здоровьем и самочувствием жителей, но данный фактор рассматривается отдельно, что позволяет получить более реалистичную оценку.

Для определения степени воздействия факторов на общую стоимость жилья должна быть составлена матрица так называемых Fuzzy associative memories (FAMs) /4, 6/, которая ставит в соответствие возможность реализации любого фактора и силу его воздействия на стоимость (табл. 1).

Аналогично строятся таблицы и для других факторов.

На данном этапе также необходимо рассмотреть и учесть, как стоимость каждой из входных групп параметров повлияет на рассматриваемый объект недвижимости, а именно на изменения (по требованию покупателя жилья) экологии, развитости социальной инфраструктуры, близости к промышленной зоне, безопасности и др.

Возможная интерпретация последствий представлена в табл. 2.

Рис. 1. Классификация критериев оценки объектов недвижимости (жилья)

Каждый из входных параметров влияния на стоимость был описан с помощью функции принадлежности. Для этого был выбран треугольный вид функции принадлежности как наиболее часто используемый /2–5/. Так, например, графическая иллюстрация выходной переменной «стоимость объекта недвижимости» представлена на рис. 2.

Каждая из входящих переменных, т. е. каждый из факторов, влияющих на стоимость, оцениваются на основе экспертных оценок. Так, например, в то время как возможность изменения «наличие лесопарковой зоны» была оценена экспертами как СРЕДНЯЯ и воздействие данного фактора на стоимость также как СРЕДНЕЕ, то для фактора «в районе спортивный комплекс» возможность изменения – НИЗКАЯ, а воздействие фактора – СРЕДНЕЕ.

Далее, в соответствии с матрицей FAMs, формируются логические правила.

Таблица 1

Реализация фактора экологии и сила его воздействия на стоимость

Сила воздействия фактора	Высокая	Средний	Средний	Умеренно-высокий	Высокий	Высокий
	Умеренно-высокая	Ниже среднего	Средний	Средний	Умеренно-высокий	Высокий
	Средняя	Ниже среднего	Ниже среднего	Средний	Средний	Умеренно-высокий
	Ниже среднего	Низкий	Ниже среднего	Ниже среднего	Средний	Средний
	Низкая	Низкий	Низкий	Ниже среднего	Ниже среднего	Средний
Эффект фактора расположения жилья		Низкая	Ниже среднего	Средняя	Умеренно-высокая	Высокая
		Возможность реализации фактора влияния на стоимость				

Таблица 2

Интерпретация факторов расположения жилья

Описание	Влияние	Изменение экологии	Изменение социальной инфраструктуры	Изменение в близости к пром. зоне	Изменение в безопасности
Район	Низкое	Очень низкое	Очень низкое	Очень низкое	Очень низкое
	Среднее	Низкое	Низкое	Очень низкое	Очень низкое
	Высокое	Среднее	Среднее	Очень низкое	Очень низкое
Улица	Низкое	Низкое	Низкое	Низкое	Низкое
	Среднее	Среднее	Среднее	Низкое	Среднее
	Высокое	Высокое	Высокое	Среднее	Высокое

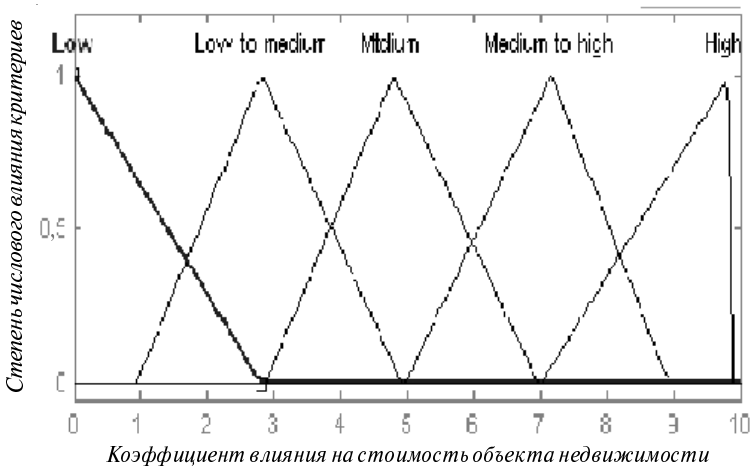


Рис. 2. Фазификация выходной переменной "стоимость объекта недвижимости"

Используя алгоритм нечёткого вывода /3, 5/, а также все предположения, закладываемые в течение анализа, была получена оценка влияния изменения входных параметров на ключевые параметры стоимости объекта недвижимости.

Итак, влияние на факторы стоимости:

изменение экологии – среднее;

изменение в наличии магазинов, стадионов и т. д. – среднее;

изменение в промышленной зоне – низкое;

изменение в безопасности – среднее.

На основе полученных данных можно сделать вывод, насколько покупатель готов заплатить за данный объект недвижимости в случае принятия решения о его покупке.

Применение метода нечёткой логики позволило включить такие лингвистические факторы, влияющие на стоимость объекта недвижимости, как район, экология, развитость социальной инфраструктуры, наличие промышленных объектов на территории района или улицы, безопасность района к реальной стоимости объекта недвижимости и пр., а также помогла представить наглядные результаты для лиц, принимающих решения.

Рассмотрим вторую задачу: оценку стоимости недвижимости, расположенной вблизи от промышленного предприятия.

Решение поставленной задачи осуществляется с помощью методов нечёткой логики. В качестве входных переменных системы нечёткого вывода были рассмотрены: близость жилья от предприятия; влияние деятельности предприятия на здоровье человека.

Для оценки первой из входных переменных экспертами была составлена таблица критериев близости жилья от предприятия (табл. 3). Естественно, чем ближе предприятие к жилью, тем хуже экологическая обстановка, и это неблагоприятно влияет на здоровье человека.

Оценка второй входной переменной основана на анализе влияния жизнедеятельности предприятия на здоровье человека. Для этого экспертами была составлена таблица категорий "суровости" (табл. 4) последствий в случае сбоев в работе предприятия (в данном случае под сбоем в работе предприятия имеются в виду выбросы в атмосферу вредных веществ, пожар на складе исходных или готовых материалов, пожары или взрывы производственных помещений и т. д.).

Выходная переменная "стоимость" жилья в зависимости от близости к промышленному предприятию была оценена по параметрам, представленным в табл. 5.

Для формирования системы нечёткого вывода были сформулированы двенадцать правил:

1. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 5***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Низкая***> *тогда* <Цена ***Очень низкая***>

2. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 5***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Средняя***> *тогда* <Цена ***Низкая***>

3. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 5***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Высокая***> *тогда* <Цена ***Умеренная***>

Таблица 3

Результаты оценки близости жилья и предприятия

Близость	Критерий	Шкала от 0 до 100
Низкая (Inadequate) (около 2 км)	Жильё расположено в непосредственной близости к предприятию, и все продукты жизнедеятельности предприятия оказывают своё воздействие на здоровье человека	25–44
Средняя (Good) (от 2 до 5 км)	В целом, предприятие не оказывает воздействие на экологическую обстановку около жилья, но любой сбой в работе предприятия будет отражаться на экологии района, следовательно, это будет непосредственно оказывать влияние на здоровье населения	45–75
Высокая (Excellent) (от 5 км и выше)	Экологически чистый район. Даже при наличии сбоев жизнедеятельность предприятия не окажет влияния на здоровье населения (кроме обстоятельств, связанных с погодными катаклизмами или с экологическими катастрофами)	> 75

Таблица 4

Оценка "суровости" последствий деятельности предприятия

Категория	Критерий	Шкала от 0 до 100
1	Предприятие работает в нормальном режиме. Сбоев нет. Но в любом случае промышленное предприятие выводит в атмосферу или в водные ресурсы продукты своей жизнедеятельности	0–12
2	Сбой в работе незначительный. На предприятии вовремя были устранены последствия сбоя, и это с малой вероятностью принесёт лишь незначительные повреждения	12–37
3	Сбой в работе предприятия продолжался определённое время, на его устранение потребовались дополнительные силы и время. Это принесёт лишь незначительные повреждения	37–62
4	Сбой в работе предприятия продолжался достаточное время, на его устранение потребовались дополнительные силы и значительное время. Принесёт повреждения здоровью населению, но с низкой вероятностью летального исхода	62–87
5	Сбой в работе высокий, на устранение потребовались не только дополнительные силы и время, но и требуется значительное время для устранения последствий сбоя. Принесёт повреждения здоровью населения, а также (допустим, 50 %) приведёт к летальному исходу	87–100

Таблица 5

Категории цены в зависимости от близости к предприятию

Категория цены	Критерий
Очень высокая	Полное отсутствие риска для населения
Высокая	Нет риска летального исхода или вреда для здоровья
Умеренная	Остаётся вероятность при сбое на предприятии лёгких повреждений для здоровья населения
Низкая	Низкая вероятность летальных исходов, но высокая вероятность вреда для здоровья
Очень низкая	Высока вероятность летальных исходов при сбое в работе предприятия

4. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 4***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Низкая***> *тогда* <Цена ***Низкая***>

5. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 4***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Средняя***> *тогда* <Цена ***Умеренная***>

6. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 4***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Высокая***> *тогда* <Цена ***Высокая***>

7. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 3***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Низкая***> *тогда* <Цена ***Умеренная***>

8. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 3***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Средняя***> *тогда* <Цена **Высокая**>

9. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 3***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Высокая***> *тогда* <Цена ***Очень высокая***>

10. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 2***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Средняя***> *тогда* <Цена ***Высокая***>

11. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 2***> **и** <БЛИЗОСТЬ ЖИЛЬЯ ОТ ПРЕДПРИЯТИЯ ***Высокая***> *тогда* <Цена ***Очень высокая***>

12. Если <"Суровость" последствий в случае сбоя соответствует ***Категории 1***> *тогда* <Цена ***Очень высокая***>

В соответствии с представленными правилами, а также применяя алгоритм нечёткого вывода /4–6/, автором были получены оценки выходной стоимость жилья в зависимости от близости к предприятию.

Таким образом, можно получить результат для оценки стоимости жилья в зависимости от таких факторов как: его расположение и близость от предприятия. Настроив систему, у покупателя и продавца появляется мощный и незаменимый инструмент на основе метода нечёткой логики для управления оценкой стоимости жилья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антикризисное управление: Учеб. пособие: в 2 т. Т. 2.: Экономические основы / Отв. ред. Г.К. Таль. М.: ИНФРА-М. 2004. 1027 с.

2. **Джонс М.Т.** Программирование искусственного интеллекта в приложениях. М.: ДМК Пресс. 2004. 312 с.

3. **Кофман А.** Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь. 1982. 432 с.

4. **Мартынов Н.Н.** Введение в MATLAB 6. М.: КУДИЦ-Образ. 2002. 352 с.

5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука. 1986. 312 с.

6. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р. Ягера. М.: Радио и связь. 1986. 391 с.

УДК 519.81

Д.С. Коваленко

МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ КОММУТАЦИОННЫХ АГЕНТОВ

Активное развитие методов распределённого искусственного интеллекта, достижения в области аппаратных и программных средств поддержки концепции распределённости и открытости в последние 15–20 лет позволили интегрировать агентные технологии в системы, совместно решающие сложные задачи, например, такие как монито-

ринг, контроль и автоматическая диагностика больших, сложных, технологически разнородных и распределённых систем [1–4]. Под большой и распределённой системой понимается система, в реальной действительности существования которой проявляется один или несколько видов её сложности [5]: структурная (архитектурная распределённость); функционирования; выбора поведения в многоальтернативных ситуациях; развития.

Представителями рассматриваемых систем являются комплексы технологического оборудования предприятий, имеющих большую удалённость своих производственных объектов или большое количество объектов диагностирования, предприятий нефте-, газоперерабатывающих и химических комплексов, железнодорожного транспорта, газо- и нефтетранспортных компаний, металлургических и машиностроительных заводов.

Особенностью решения задач диагностирования промышленного комплекса посредством непрерывного мониторинга технологического оборудования является требование принятия диагностических решений по информации от распределённых источников, характеризующихся:

переменностью по времени многих измеряемых величин, измерения выполняются с большими и различными частотами опроса;

разнородностью диагностической информации с большим разнообразием смыслового содержания;

избыточностью данных измерений выходных параметров технологического оборудования;

погрешностью измерений выходных параметров оборудования.

По способу организации связей системы сбора и обработки информации в системах управления технологическими процессами выделяют два типа структур: централизованную и децентрализованную.

Наличие нескольких тысяч таких источников информации создаёт алгоритмические и концептуальные трудности сбора, первичной и вторичной обработки диагностической информации для принятия решений в централизованных структурах. В качестве архитектуры децентрализованной системы сбора и обработки данных предлагается использовать аппаратно-программные реализации интеллектуальных агентов в коммуникационной среде диагностического комплекса.

Архитектура многоагентной среды сбора и анализа диагностической информации

Идея многоагентности системы сбора и анализа информации предполагает кооперацию агентов при коллективном решении диагностической задачи. В многоагентной системе агент, который не способен решить задачу сбора и первичного анализа измерительной информации самостоятельно инициирует использование коллектива агентов для решения общей задачи анализа и диагностики. При этом агенты в диагностической сети планируют свои действия, основываясь уже не только на своих коммуникационных возможностях, но и с учётом планов и намерений других агентов. Однако использование идеи коллективного поведения приводит к массе проблем [3]: формирования совместных планов действий, возможности учёта интересов контрагента, синхронизации, наличия конфликтующих целей, наличия конкуренции за совместные ресурсы, распознавания необходимости кооперации, обучения поведению в коллективе, декомпозиция задач и разделение обязанностей, правила поведения в коллективе, и т. д. В настоящей статье многоагентная система рассматривается как множество интеллектуальных коммуникационных агентов, распределённых по узлам слабосвязанной (в графовом представлении) диагностической сети, кооперирующихся в процессе передачи измерительной информации и ее поэтапного анализа для выработки диагностических решений, при этом, использование математического аппарата теории перколяции позволяет частично решить проблемы наличия конфликтующих целей и наличие конкуренции за совместные коммуникационные ресурсы.

Основной задачей предлагаемой коммуникационной многоагентной среды, является адаптивное формирование мультиагентного управления трафиком разнородных данных большого объёма с надёжными гарантиями доставки телеметрических сообщений и достоверности промежуточного анализа измерений. Решение этой задачи распадается на локальные задачи управления потоками данных, адаптации

к изменяющемуся трафику, предотвращения перегрузок, разрешения сетевых конфликтов и т. п.

Совместное поведение различных объектов изучается в рамках многих научных дисциплин. Подход к формализации задач сбора и обработки, решаемых на уровне кооперации агентов использует теорию коллективного поведения автоматов [2, 3], исследующую поведение больших коллективов автоматов с примитивными функциями.

Для управляемой адресной передачи и навигации потоков данных, разрешения сетевых конфликтов, функциональной диагностики и распознавания состояний традиционных телекоммуникационных сред, на уровне маршрутизации потоков данных, используют координационные механизмы управления связью.

Отличием модели коммутационной многоагентной среды от моделей телекоммуникационных сред, состоит в учёте геометрии среды агентов на макроскопическом уровне. Завершённость процесса оценки технического состояния распределённого производственного комплекса предполагает конечный и единственный элемент оконечного оборудования данных. Следовательно, геометрическую форму многоагентной среды, в общем случае, можно представить многомерным конусом, в основание которого подаются сигналы (векторы сигналов датчико-преобразующей аппаратуры промышленных телеметрических систем), а с вершины конуса снимается результат анализа, прошедший стадии промежуточного анализа и трансляции через коммуникационные узлы, управляемые агентами (рис. 1).

Моделирование процессов коммутации (и промежуточного анализа) при передаче телеметрируемых параметров от датчико-преобразующей аппаратуры к оконечному оборудованию данных, в достаточно развитой распределённой диагностической среде, позволяет оценить характеристики компонентов многоагентной сети, при которых вероятность своевременной доставки, первичной обработки и достоверности анализа диагностической информации в промышленном комплексе приближается к своему критическому значению. Представляя модель

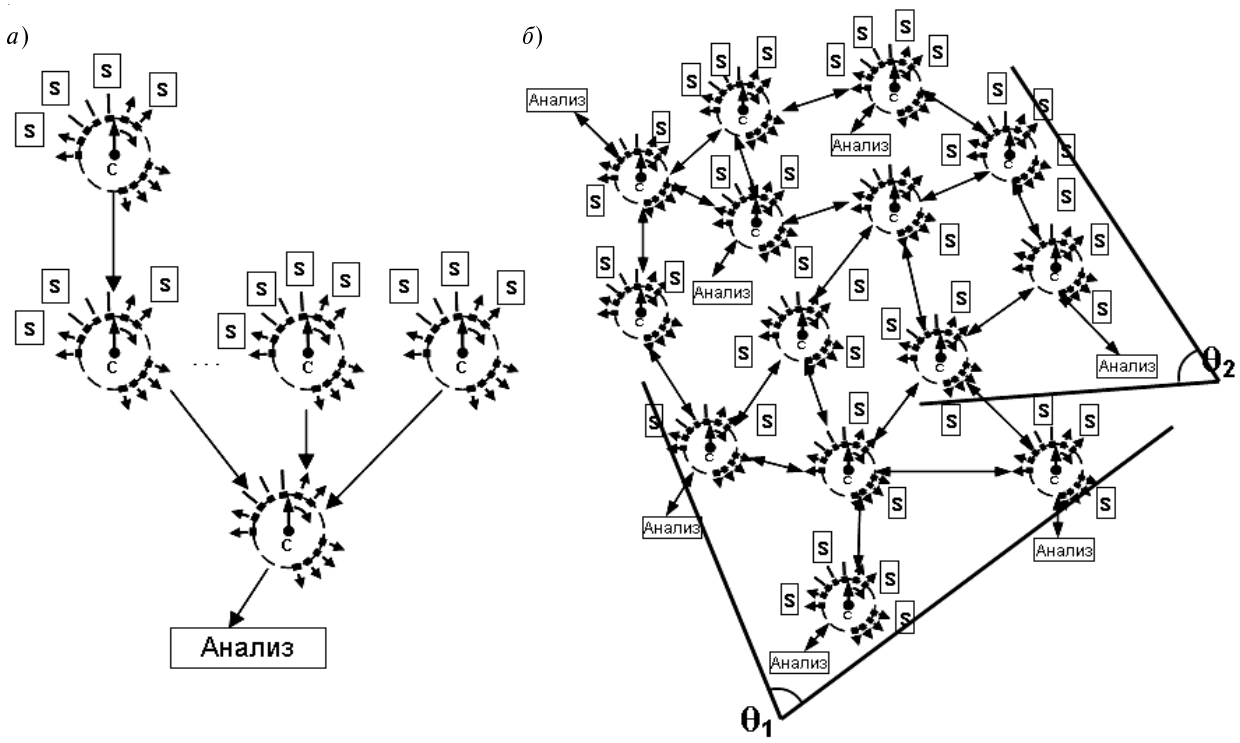


Рис. 1. Трансформация *а*) трёхступенчатой системы сбора данных на основе коммутаторов в *б*) распределённую многоагентную среду

s – датчик; c – коммутационный агент, выполняющий две основные функции: промежуточный анализ измерительной информации, пришедшей на его вход и трансляцию измерительных сигналов другим агентам среды

диагностической сети как систему коммутационных агентов со случайным числом ближних связей и случайным радиусом их взаимодействия, задача о сборе и анализе диагностической информации становится эквивалентной задаче узлов на случайной решетке при достаточно большом числе слоёв ν ближайших соседей (рис. 1*б*).

Угол коммутационной среды агентов можно определить выражением:

$$\theta = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{N_{i+1}}{N_i}, \qquad (*)$$

где m – число уровней многоагентной коммутационной среды; N_i – количество агентов на i-м уровне.

Каждый коммуникационный агент в процессе работы выполняет действия следующего типа:

активно принимает и фильтрует измерительную информацию от других агентов или датчико-преобразующей аппаратуры;

осуществляет промежуточный анализ измерительной информации по данным сообщениям;

инициализирует и выполняет коммуникации с другими агентами в интересах диагностической кооперации;

обучается по диагностическим данным с указанием учителя или с подкреплением знаний.

Задача сбора и передачи диагностических данных в системе случайно взаимосвязанных агентов, корректно эквивалентна задаче узлов на решётке при достаточно большом числе слоёв ν (на квадратной решётке к одному узлу при ν = 1 число ближайших узлов $z = 4$, при ν = 2 $z = 8$, при ν = 3 $z = 12$) [7]. Для осуществления передачи измерительной информации посредством случайных агентов коммуникационной среды можно записать:

$$N_C = 4.4/\pi r^2,$$

для трёхмерной среды:

$$N_C = 2.03/\pi r^3,$$

где N_c – критическое значение концентрации проводящих агентов на единицу объёма коммутационной среды, r – радиус взаимодействия агентов.

В ходе экспериментальных исследований доли задействованных агентов в процентах от общего числа коммутационных агентов, пропускная способность которых соответствует критическому уровню, в зависимости от размерности решётки диагностической сети и величины угла

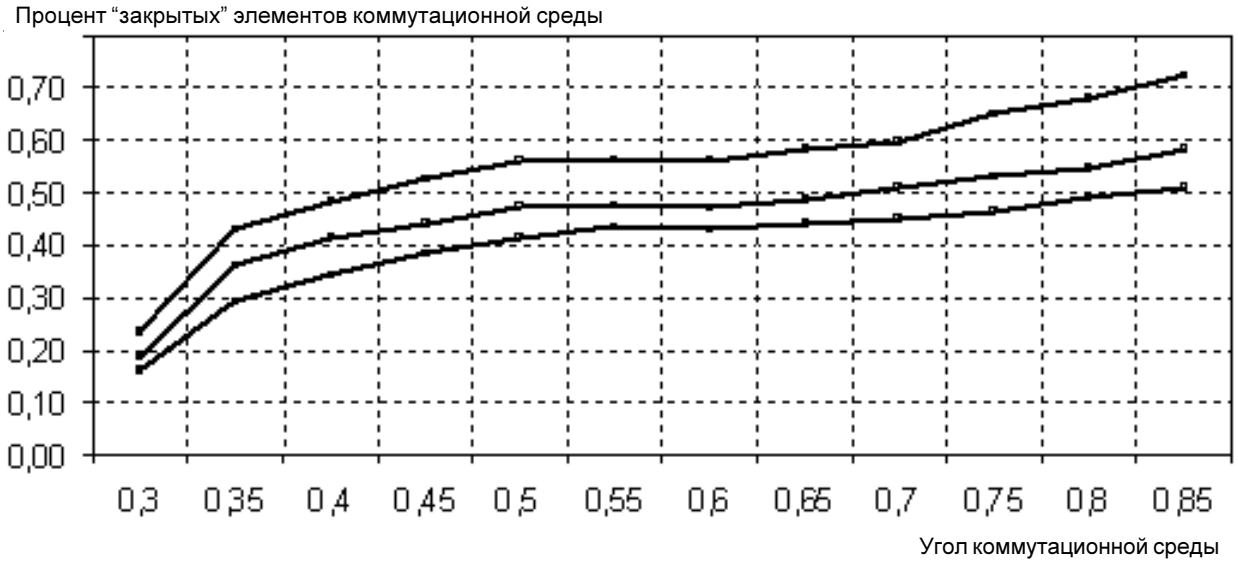


Рис. 2. Зависимости процента непроводящих коммутационных агентов от величины угла при вершине конуса коммутационной многоагентной среды
Сеть со слабосвязанными элементами в слое (——·——); двумерная сеть (——▪——); трехмерная сеть (——·——)

(*) в вершине конуса, установлено, что распараллеливание коммутационной среды увеличивает информационный порог (рис. 2), т. е. увеличивается процент непроводящих коммутационных агентов, при котором обеспечивается заданное качество функционирования диагностической сети.

Предположительно сказывается влияние агентов при вершине конуса, где преобладает эффект линейной цепочки, т. е. сколь угодно малое количество коммутационных агентов, пропускная способность которых ниже критического уровня, прерывает передачу диагностической информации оконечному оборудованию данных – центру принятия решений.

Уменьшение связности между агентами коммутационной среды одного уровня приближает значение информационного порога к значению порога для решётки Бете (рис. 3), критическая концентрация узлов которой определяется из условия [7]

$$X_C = 1/q,$$

где q – усредненное количество агентов, связанных с одним агентом предыдущего уровня:

$q = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(N_i)^{1/i}$, N_i – количество коммутационных узлов на i-м уровне, $i = 1,...m$.

Ограничением на применимость предложенной модели для оценки надёжности сети сбора и обработки диагностических данных является зависимость дисперсии величины от размеров коммутационной среды (общего числа агентов в сети). Имитационное моделирование показало, что для тридцати агентов дисперсия составляет около 80 % максимальной величины X_c, а для

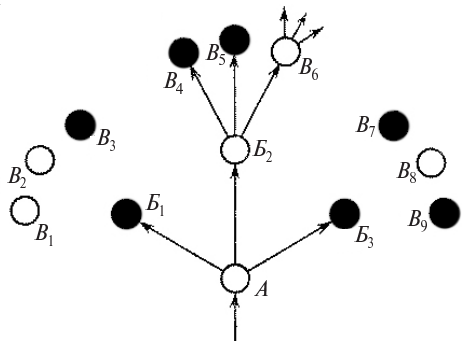


Рис. 3. Решетка Бете с $q = 3$
Заштрихованные узлы – агенты с пропускной способностью ниже критической

среды размером двести коммутационных агентов – около 25 %.

Таким образом, предложенная модель диагностической среды как однородной архитектуры коммутационных агентов основана на поведении систем реактивной архитектуры (*reactive architecture* – реакция агента на входящие измерительные сообщения из вне). Поведение каждого агента может рассматриваться как недетерминированное, что позволяет развивать различные вероятностные модели. Допускается обучение каждого агента при помощи различных парадигм обучения, при этом агент должен быть наделён памятью, в которой он в некоторой форме запоминает предыдущие штрафы и поощрения, и может использовать эту информацию для улучшения своего и коллективного поведения в соответствии с критерием качества диагностического обеспечения распределённых промышленных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Спицнадель В. Н.** Основы системного анализа: Учеб. пособие. СПб.: Изд. дом "Бизнесс-пресса". 2000. 326 с.

2. **Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В.** Многоагентные системы // Новости искусственного интеллекта. 1997. № 1. С. 15–30.

3. **Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В.** Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. 1998. № 2. С. 64–116.

4. **P. Maes.** Agent that Reduce Work and Information Overload. In: Communication of the ACM, v. 37, № 7. July 1994. P. 30–40.

5. **Клир Дж.** Наука о системах: новое измерение науки // Системные исследования: Методологические проблемы. Ежегодник. М.: Наука. 1983. С. 26–76.

6. **M. Wooldridge and N.R. Jennings.** Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey. In: Intelligent Agents. ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architecture and Languages. Amsterdam. The Netherlands / August 8–9, 1994 / Proceedings. Springer Verlag: 1994. P. 3–39.

7. **D. Stauffer.** Introduction to percolation theory. Taylor & Francis. 1985.

УДК 519.632.4

А.В. Пашковский

РЕШЕНИЕ ТЕСТОВЫХ ПОЛЕВЫХ ЗАДАЧ В КУСОЧНО-ОДНОРОДНОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Решение современных задач проектирования, разработка новых технологий, получение материалов и устройств с заранее заданными свойствами невозможны без привлечения программных средств, осуществляющих необходимые расчёты и сочетающих высокую точность и приемлемое время их выполнения. Среди современных численных методов наиболее популярен метод конечных элементов (МКЭ). По своей сущности – это вариационный метод с кусочно-полиномиальными пробными функциями, обладающий геометрической гибкостью и применяемый к большому классу уравнений с частными производными. Он позволяет достаточно точно описать сложные криволинейные границы области определения решений и краевые условия. Однако использование МКЭ для точного расчёта двух-и трехмерных электромагнитных и температурных полей в кусочно-однородных средах (КОС) при наличии в окрестностях угловых точек особенности решения, многофазных сред с тонкими включениями или неудовлетворительными свойствами решений, затруднено.

Таким образом, все насущнее становится задача создания новых численных методов, внедрения новых идей в их подходах, обеспечивающих при реальных затратах компьютерных памяти и времени высокую точность решения, в частности, полевых задач в КОС с особенностями решения, неудовлетворительными свойствами решений на границах.

Основная идея метода стандартных элементов (МСЭ) состоит в заполнении расчётной области совокупностью стандартных элементов (СЭ), в которых известны аналитические решения соответствующих краевых задач, найденные классическими методами. Такой подход позволяет не только резко сократить степень дискретизации расчётной области, но и на порядки повысить точность решения. Метод стандартных элементов, впервые введенный в [1] для тепловых расчётов электрических машин, при заполнении расчётных областей предполагал использование таких СЭ, как: круг, сектор, сектор кольца и др. Комбинированное использование МСЭ с МКЭ также отличалось резким повышением точности расчётов.

Дальнейший анализ геометрии электромагнитных устройств (ЭУ), а также разнообразных КОС, показал значительные перспективы использования в моделировании электромагнитных и температурных полей СЭ типа: прямоугольник и параллелепипед. Результаты, полученные в [2, 3], показали стройность лежащей в основе метода математической теории и соответствующих выводов. Данные [4], кроме того, проиллюстрировали достаточную простоту использования СЭ прямоугольной геометрии для заполнения двух-и трехмерных расчётных областей, удобную склейку СЭ между собой, возможность комбинирования подобных СЭ с конечными элементами в расчётной области при сохранении высокой точности расчётов.

Разработка нового численного метода, оценка его преимуществ и недостатков, естественно, предполагает оценки его точности на разнообразных краевых задачах, геометриях расчётных областей и граничных условиях. Рассмотрим некоторые данные сравнительного анализа точности МСЭ и МКЭ при решении тестовых задач в однородных и кусочно-однородных средах. Следует отметить, что большинство результатов, приведенных ниже, получены на соответствующих аналитических примерах и специально разработанной математической модели кусочно-неоднородной в магнитном отношении расчётной области. Такой подход – единственный способ объективной оценки точности и эффективности двух современных численных методов.

Первоначально для сравнительной оценки МСЭ и МКЭ получены распределения магнитного потенциала в однородной области (рис. 1). Геометрия области аналогична замкнутой системе П-образного магнита. Зазор в магнитопроводе принимался равным 2 мм, что соответствовало размерам в реальной системе. Ставилась

задача не только получить численные решения краевой задачи МСЭ и МКЭ, но и сопоставить полученные данные с её аналитическим решением. В качестве аналитического решения в расчётной области в порядке усложнения рассматривались модельные функции (рис. 2)

$$W_1 = 7 + 3y + 4x + 5xy;\ W_2 = y^3 - 3x^2y;$$
$$W_3 = \sin(y - 9)\sin(x)/10 + 1, \qquad (1)$$

определяющие граничные условия (2) в задаче Дирихле для уравнения Лапласа:

$$\operatorname{div}(1/\mu \operatorname{grad} U) = 0,$$
$$U|_{G1} = U_1,\ U|_{G2} = U_2,\ U|_{G3} = U_3,\ U|_{G4} = U_4. \qquad (2)$$

Также для существования решения в аналитическом виде, считалось, что магнитные проницаемости материалов области одинаковы и источники поля в области отсутствуют. Для использования МСЭ расчётная область была разбита на 48 СЭ (см. рис. 1) в виде прямоугольников, что продиктовано удобством их формы для её заполнения. Для контроля точности было выделено девять точек (см. рис. 1), включая точки в угловой части центрального сердечника и в узком зазоре, рассчитываемые обычно с наименьшей точностью. Значения аналитического решения в точках находились непосредственным вычислением значений тестовой функции. Для получения картины двухмерного поля МКЭ применялись программные пакеты FEMM и Mathlab. Разбиение расчётной области на конечные элементы представлено на рис. 3.

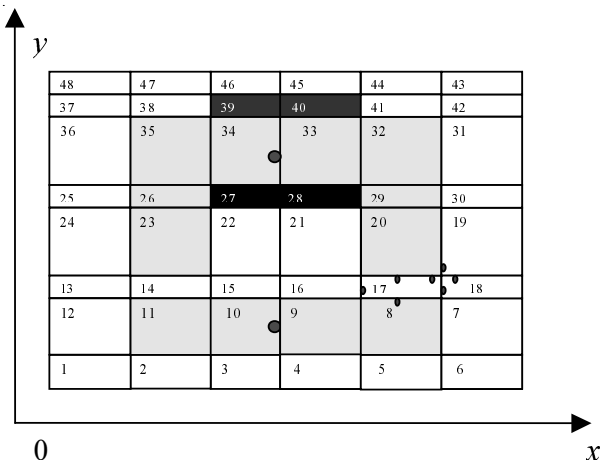


Рис. 1. Расчётная область (48 СЭ)

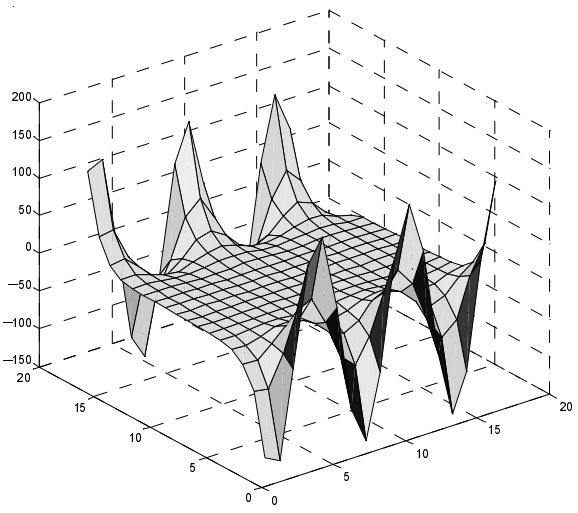


Рис. 2. Модельная функция W_3

Полученные результаты показали, что МСЭ позволяет резко сократить степень дискретизации расчётной области (табл. 1).

Очевидны преимущества МСЭ и в точности расчёта поля при наличии в области узких включений и быстро осциллирующих функций.

Существует мнение, что увеличение степени дискретизации расчётной области при использовании МКЭ всегда влечет повышение точности. Как показали численные эксперименты,

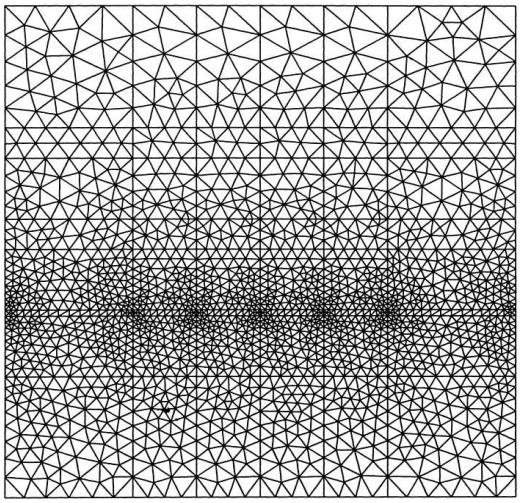


Рис. 3. Разбиение расчётной области на КЭ (3784)

Таблица 1

Результаты расчёта значений тестовых функций

Метод решения	Число узлов	Число элементов	W_1 δ_{max}, %	W_2 δ_{max}, %	W_3 δ_{max}, %
Аналитика	0	0	0	0	0
МКЭ	1954	3784	0,0560	1,3	4,21
МСЭ	63	48	0,0612	0,1330	0,6035

проведенные на рассмотренном примере, увеличение числа элементов с 3760 до 15136, а затем и до 60544 (более чем в 16 раз) не принесло значительного уменьшения величины погрешности МКЭ (табл. 2).

В некоторых контрольных точках погрешность даже возросла, что обусловлено ростом погрешности решения систем уравнений с разреженными матрицами. Достичь такого преимущества в точности расчётов МСЭ по сравнению с МКЭ позволяет использование аналитических представлений функций решения в СЭ вместо их аппроксимации линейными полиномами.

Однако наибольший интерес представляет расчёт областей с кусочно-однородной структурой. Рассмотрим результаты численных экспериментов (табл. 3) по решению краевой задачи (2) в расчётной области (см. рис. 1) с учётом реальных магнитных характеристик входящих в нее материалов ($\mu_{воздуха} = 1$, $\mu_{меди} = 1$, $\mu_{стали\,М\text{-}45} = 4985$) и тестовых функций вида (1).

В силу отсутствия аналитического решения задачи Дирихле для уравнения Лапласа при кусочно-однородной структуре области возьмём за эталон значения, полученные по МКЭ. Следует заметить, что в силу полученных выше фактов такое предположение является спорным. Тем не менее становится очевидным факт увеличения разницы в значениях сравниваемых методов при усложнении вида тестовой функции и граничных условий. Кроме того, увеличение в МКЭ числа элементов, как и в предыдущем варианте, не принесло хоть какого-то значительного уменьшения величины погрешности.

Таблица 2

Результаты расчёта МКЭ значений W_2 при увеличении степени дискретизации

3760 элементов δ_{max}, %	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,24	1,1	1,2
15136 элементов δ_{max}, %	1,39	1,24	1,23	1,32	1,31	1,29	1,24	1,25
60544 элементов δ_{max}, %	1,44	1,26	1,26	1,2	1,28	1,31	1,34	1,33

Таблица 3

Результаты расчёта для тестовых функций W_1, W_2, W_3

Метод решения	Число узлов	Число элементов	W_1 δ_{max}, %	W_2 δ_{max}, %	W_3 δ_{max}, %
МКЭ	1954	3784	–	–	–
МСЭ	63	48	0,064	2,6	20

На основании вышеизложенных результатов численных экспериментов, их сравнения с аналитическими решениями, результатами, полученными в [1], можно сделать следующие выводы:

МСЭФ позволяет резко сократить объём работы по дискретизации области;

МСЭФ обеспечивает более высокую точность расчёта однородных областей с осциллирующими функциями и наличием узких включений, чем МКЭ;

необходимо разработать математическую модель кусочно-однородной среды для полноценной сравнительной оценки точности МСЭ и МКЭ.

Математическая модель КОС

Рассмотрим несколько прямоугольных СЭ (рис. 4).

Зададим в каждом прямоугольнике гармонические модельные функции соответственно u_1, u_2, ... вида:

$$u_1 = kf_1 \sin(ku_1 \cdot y)\mathrm{sh}(ku_1 \cdot x),$$
$$u_2 = kf_2 \sin(ku_1 \cdot y)\mathrm{ch}(ku_1 \cdot x) \ldots$$
$$u_8 = kf_8 \cos(ku_1 \cdot y)\mathrm{sh}(ku_1 \cdot x),$$
$$u_7 = kf_7 \cos(ku_1 \cdot y)\mathrm{ch}(ku_1 \cdot x) \ldots$$

Пусть в области поставлена краевая задача Дирихле для уравнения Лапласа:

$$\mathrm{div}(1/\mu \mathrm{grad}\, U) = 0,\ U|_{s_i} = f_i,$$

где условия f_i вводятся в соответствии с выбранными в СЭ модельными функциями.

Проведём первоначальные рассуждения для пары функций u_1, u_2. Функция решения в области должна быть непрерывна, а следовательно, на

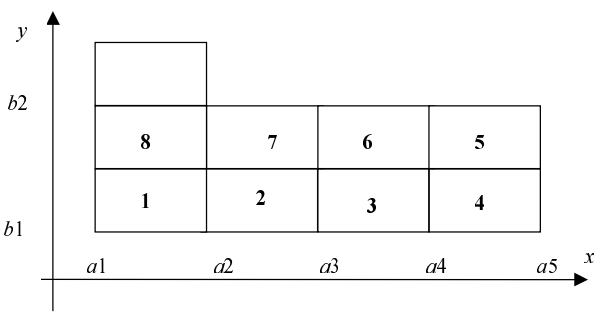


Рис. 4. Кусочно-однородная область

границах "склейки" значения модельных функций должны совпадать, т. е.

$$u_1|_{x=a2} = u_2|_{x=a2},\ u_3|_{x=a3} = u_2|_{x=a3} \qquad (3)$$

и т. д.

Таким образом, связь между коэффициентами, например на границе a_2, с использованием (3) определена:

$$kf_2 = kf_1 \cdot th(a_2 \cdot ku_1). \qquad (4)$$

Рассмотрим поведение производных функций на этой же границе:

$$1/kf_2/\mathrm{sh}(ku_1 \cdot a_2)u_{2x}'|_{x=a2} = \\ = 1/kf_1/\mathrm{ch}(ku_1 \cdot a_2)u_{1x}'|_{x=a2}. \qquad (5)$$

С учётом стандартного вида условий на внутренних границах расчётной области в электромагнитных расчётах и (5), можно считать, что в первом СЭ задана среда с $\mu_1 = kf_1 \cdot \mathrm{ch}(ku_1 \cdot a_2)$, во втором – с $\mu_2 = kf_2 \cdot \mathrm{sh}(ku_1 \cdot a_2)$ и $\mu_2 = \mu_1 \cdot th^2(ku_1 \cdot a_2)$.

Рассуждая аналогично, рассмотрим "склейку" 1-го и 8-го СЭ вдоль оси *oy*:

$$kf_1 \cdot \mathrm{sh}(ku_1 \cdot x)\sin(ku_1 \cdot b_2) = \\ = kf_8 \cdot \mathrm{sh}(ku_1 \cdot x)\cos(ku_1 \cdot b_2); \\ -1/kf_8/\sin(ku_1 \cdot b_2)u_{8y}'|_{y=b2} = \\ = 1/kf_1/\cos(ku_1 \cdot b_2)u_{1y}'|_{y=b2}.$$

Ранее было получено, что в первом прямоугольном СЭ среда с $\mu_1 = kf_1 \cdot \mathrm{ch}(ku_1 \cdot a_2)$, тогда

$$-1/kf_8/\sin(ku_1 \cdot b_2)/\mathrm{ch}(ku_1 \cdot a_2)\cos(ku_1 \cdot b_2)u_{8y}'|_{y=b2} = \\ = 1/kf_1/\mathrm{ch}(ku_1 \cdot a_2)u_{1y}'|_{y=b2}; \\ \mu_8 = -kf_8 \cdot \mathrm{tg}(ku_1 \cdot b_2) \cdot \mathrm{ch}(ku_1 \cdot a_2) \text{ и} \\ \mu_8 = -\mu_1 \cdot \mathrm{tg}^2(ku_1 \cdot b_2).$$

Таким образом, алгоритм определения связей коэффициентов и магнитных проницаемостей СЭ как по горизонтали, так и по вертикали подобны. Обобщая данную методику на рассмотренную выше область из сорока восьми СЭ и используя формулы типа (4), (5), получаем шахматную структуру неоднородности расчётной области (рис. 5). Таким образом, построена модельная краевая задача для кусочно-однородной среды с известным в каждом СЭ аналитическим решением.

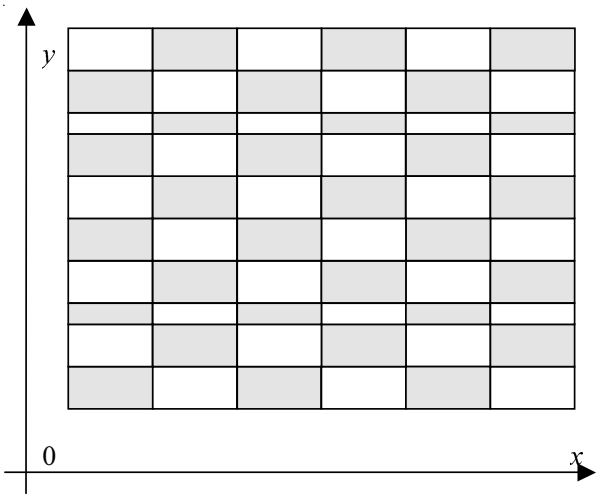


Рис. 5. Структура неоднородности

Погрешности в расчёте потенциала для девяти контрольных точек, включая точки зазора, приведены в табл. 4.

Проведенные исследования показали, что МСЭ позволяет:

резко сократить объём работы по дискретизации области при сохранении точности расчётов благодаря выделению в расчётной области стандартных элементов, аналитическое решение поставленной задачи в которых известно;

достичь высокой точности расчётов благодаря замене аппроксимации расчётной функции полиномами (как в МКЭ) на аналитическое представление функции и получать непрерывно дифференцируемые решения внутри стандартных областей, что важно для вычисления потоков;

использовать классические решения для учёта особенностей поведения решения в окрестности угловых точек области;

не менять методику при изменении размерности задачи, причем количество стандартных элементов, их геометрия не являются сдерживающим фактором.

Таблица 4

Значения погрешностей методов

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
МКЭ	3,159	6,503	0,0071	0,0137	0,2380	0,0067	6,259	3,004	2,735
МСЭ (> 4раз)	0,6092	1,627	0,0058	0,0063	0,0920	0,0062	1,546	0,7485	0,6763

Дополнительно к выводам, сделанным выше, можно добавить:

МСЭ обеспечивает достаточную стабильность точности расчёта при усложнении вида функции и росте значений её градиента в расчётной области.

Рассмотренные модельные функции изменяются достаточно плавно, что приводит к стабильной точности как МКЭ, так и МСЭ.

Преимущества МСЭ по точности проявляются для быстро изменяющихся или быстро осциллирующих функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пашковский А.В.** Расчет температурных полей в элементах электрических машин и аппаратов: Дис. ... канд. техн. наук / НГТУ (НПИ). Новочеркасск. 1989. 216 с.

2. **Пашковский А.В., Пашковская И.В.** Прямоугольный стандартный элемент в моделировании температурных и электромагнитных полей в кусочно-однородных средах // Электромеханика. 2003. № 3. С. 9–12.

3. **Пашковский А.В., Пашковская И.В.** Прямоугольный стандартный элемент с условиями Дирихле на границе // Электромеханика. 2003. № 3. С. 71–73.

4. **Пашковский А.В., Пашковская И.В.** "Склеенные" прямоугольные стандартные элементы в решении полевой задачи // Электромеханика. 2007. № 1. С. 78–79.

УДК 622.24

А.А. Цуприков, В.Г. Чередниченко

РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЕ ПРИ ПОСАДКЕ НА ЗАБОЙ

Одной из характеристик системы управления технологическим процессом (ТП) роторного бурения нефтяных и газовых скважин считается частота опроса первичных датчиков параметров контроля и управления. Интервал между считываниями данных во многом определяется временем переходных процессов (ПП), происходящих в скважине в результате изменения режимных параметров. Основной параметр управления для ТП бурения – осевая нагрузка на долото, которая на 60–70 % обеспечивает эффективность углубления скважины и является главной причиной возникновения ПП в скважине.

Вывод математической модели ПП, возникающих в скважине в результате изменения нагрузки на долото, приведен в настоящем сборнике (см. статью В.Г. Чередниченко, А.А. Цуприкова "Моделирование динамических нагрузок в бурильной колонне при посадке на забой"). В указанной статье приводятся результаты моделирования ПП в среде программирования Matlab 7.5 (R2007b)*.

* **Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В.** MATLAB 7. М.: НТ Пресс. 2006. 464 с.: ил. (Самоучитель.)

Результаты вычислений

Программные вычисления по модели ПП проводились в безразмерном виде при следующих значениях параметров: $v_к = 1{,}5$; $\alpha = 1{,}5$; $t = 10$; $k = 200$, где $v_к$ – скорость движения колонны при посадке; $\alpha = \dfrac{\beta}{S\rho}$ – эффективная вязкость элементарного сечения S колонны труб с плотностью материала труб ρ; β – коэффициент, пропорциональный вязкости бурового раствора с плотностью $\rho_ж$; t – интервал расчётного времени; k – количество сечений колонны, в которых просчитывается деформация.

Профили деформации колонны по её длине (в относительных единицах деформации) в различные моменты в течение 10 относительных единиц времени представлены на рис. 1. Задняя плоскость соответствует нижней части бурильной колонны, т. е. забою ($x = 0$), передняя – верхней части, т. е. устью ($x = 1$).

На рис. 2 показано изменение во времени относительной деформации элементарного участка колонны сечением S и длиной dx на концах

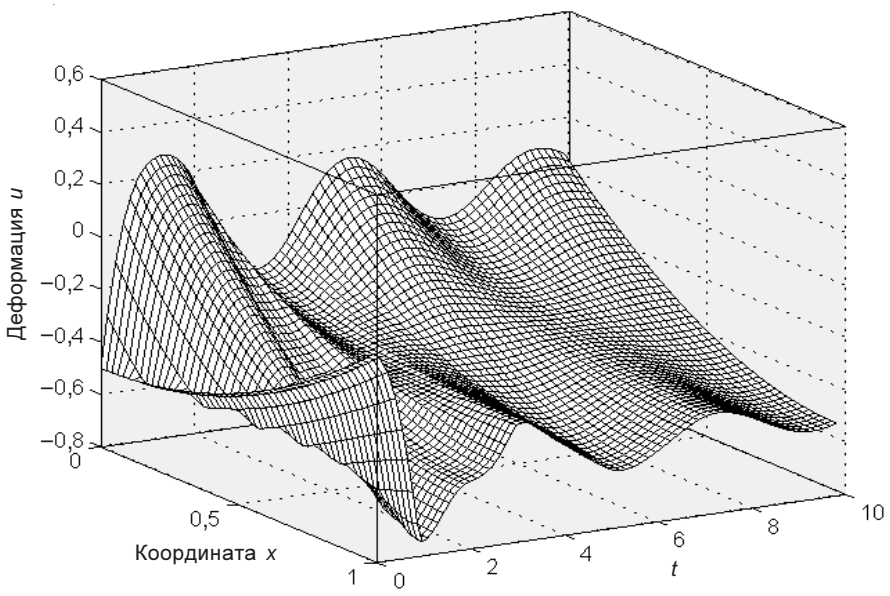


Рис. 1. Профили деформации колонны в различные моменты времени

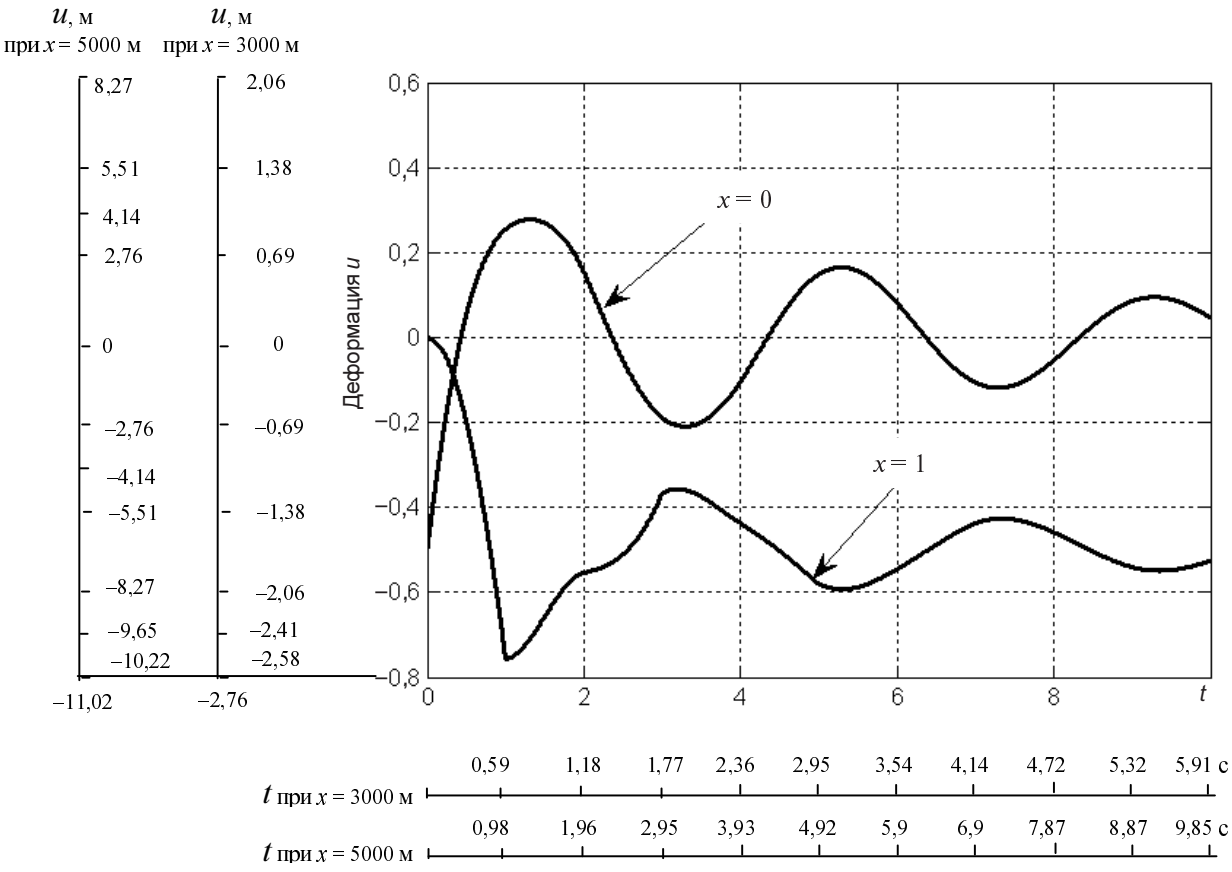


Рис. 2. Зависимость деформации от времени для нижнего ($x = 0$) и верхнего ($x = 1$) концов колонны

колонны, т. е. при $x = 0$ и при $x = 1 = l$, где l – длина колонны. На основных осях с сеткой значения функции – относительной деформации и аргумента – времени отложены в относительных безразмерных единицах. Левее и ниже основных осей расположены размерные оси относительной деформации и времени для длин колонны $x = 3000$ м и $x = 5000$ м. При практической интерпретации результатов моделирования термины "деформация", "смещение" и "растяжение-сжатие" эквивалентны, поскольку в физической модели деформация материала колонны (её сжатие-разжатие) сопровождается смещением элементарного сечения колонны.

Переходный процесс деформации колонны u при её установке на забой заключается в перемещении импульса сжатия элементарного участка колонны от забоя к устью и обратно в виде затухающих колебаний. При этом в начальной ($x = 0$) и конечной ($x = 1$) точках колонны происходят следующие деформации.

В начальный момент посадки долота на забой нижний конец колонны ($x = 0$) под действием веса колонны находится ещё в растянутом относительно центра масс состоянии на $u = -0{,}5$ о. е. деформации. В ходе посадки нижняя часть колонны сжимается до $u = +0{,}28$ о. е. за время t, равное 1,33 о. е. времени, затем идёт её разжатие до $u = -0{,}21$ о. е. при $t = 3{,}3$ о. е., вновь сжатие до $u = +0{,}17$ о. е. и т. д. После окончания переходного процесса относительная деформация нижней части колонны равна нулю, так как колонна после посадки на забой находится в покое. В целом, за время переходного процесса напряжение нижнего конца колонны увеличилось на 0,5 о. е. деформации (от –0,5 до нуля).

Одновременно верхний конец колонны, висящий на крюке ($x = 1$), деформируется в противофазе с нижним концом. В начальный момент переходного процесса он не деформирован ($u = 0$) – продолжается процесс равномерного прямолинейного движения верхнего конца по первому закону Ньютона.

При начале сжатия нижнего конца верхний продолжает растягиваться (смещаться) под действием сил инерции до $u = -0{,}76$ о. е. Затем он сжимается до $u = -0{,}36$ о. е., вновь разжимается до $u = -0{,}6$ и т. д. до окончания полной посадки

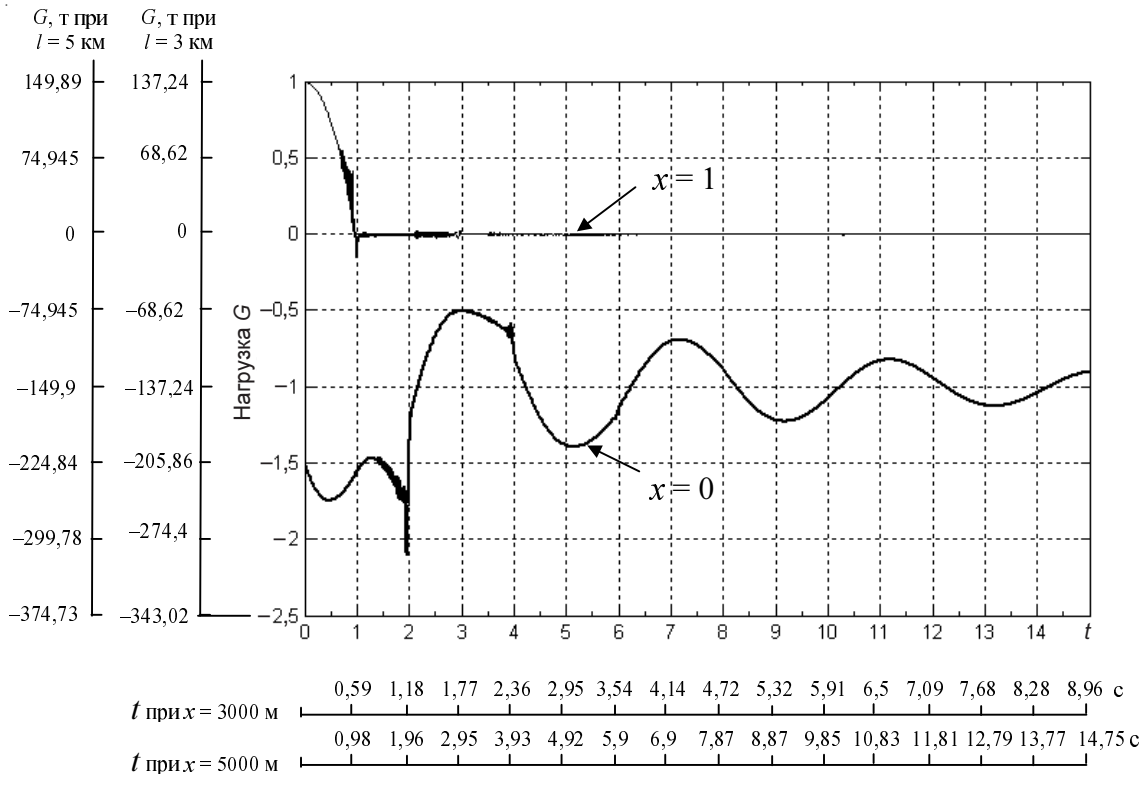


Рис. 3. Зависимость нагрузки от времени на нижнем ($x = 0$) и верхнем ($x = 1$) концах для глубин 3000 и 5000 м

всей колонны на забой. Таким образом импульс сжатия (сжатый элементарный участок) от забоя перемещается к устью, отражается от него, доходит до забоя, отражается и идёт снова к устью, и т. д. После окончания переходного процесса верхняя часть колонны остаётся растянутой на уровне деформации $u = -0,5$ относительно свободного состояния колонны без веса; в целом за время переходного процесса верхний конец колонны растягивается на 0,5 о. е. деформации.

Переходный процесс изменения веса колонны G при её установке на забой, физически определяемый как относительная деформация u и изображённый на рис. 3, заключается в следующем.

Кривая переходного процесса в начале колонны ($x = 0$ на забое) также является затухающей колебательной кривой, состоящей из пятисеми колебаний с осцилляциями за счёт наложения прямой и отражённой волн перемещения импульса сжатия по бурильной колонне.

Математически импульс посадки на забой имеет ступенчатый вид. В момент посадки импульс сжатия колонны начинает перемещаться к устьевому концу в виде прямой волны, на забое в это время осевая нагрузка G скачком увеличивается с нуля до $-1,5$ о. е. (знак "–" обусловлен направлением оси x) и в течение половины первой относительной единицы времени t возрастает до $-1,75$ о. е. нагрузки. К этому моменту приходит отражённый от конца колонны (на устье) импульс и накладывается на прямую волну, уменьшая значение G примерно до $-1,45$ о. е. и образует затем нарастающий осцилляционный участок кривой на интервале времени примерно от $t = 1,35$ до $t = 1,95$ о. е. При $t = 1,95$ о. е. времени достигается максимум осевой нагрузки на забой, примерно равный $G = -2,12$ о. е. нагрузки.

Таким образом, в момент нарастания деформации нижней части колонны до первого максимума $u = 0,28$ о. е. (см. рис. 2) нагрузка на долото возрастает до $G = -1,75$ о. е. и уменьшается до $G = -1,45$ о. е., затем ко второй относительной единице времени вновь увеличивается (через осцилляцию) до $G = -2,12$ о. е., потом падает до $-0,5$ о. е., через затухающие осцилляции нарастает примерно до $G = -1,42$, и т. д. до установившегося режима с $G = -1$, т. е. становится равной весу всей колонны.

Верхняя часть колонны под её весом максимально растянута, поэтому нагрузка G в конце бурильной колонны ($x = l = 1$ на крюке) в течение первой относительной единицы времени с 1 о. е. плавно уменьшается с $G = 1$ о. е. до уровня примерно $G = 0,4$ и потом через осцилляции от прямой волны переходит в установившийся режим при $G = 0$. Все осцилляции носят затухающий характер. Переходный процесс изменения G на крюке сдемпфирован самой бурильной колонной труб, поскольку колонна полностью садится на забой и её верхний конец находится в свободно висящем на крюке состоянии. Поэтому он не имеет такого размашистого колебательного затухающего вида, как нижняя кривая для начала колонны ($x = 0$ на забое).

Переход к размерному виду

Исходные данные для расчётов взяты из проекта и суточных рапортов проводки скважины Медведовская глубиной 6200 м (конструктивные и режимные параметры) и приведены в табл. 1 и 2. Масштабные коэффициенты для глубин $L = 3$ и 5 км рассчитаны в табл. 2.

Скорость распространения волны по стержню:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9\ \text{Па}}{7800\ \text{кг/м}^3}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^9\ \text{Н/м}^2}{7800\ \text{кг/м}^3}} = 5063,69\ \text{м/с}$$

Относительная безразмерная шкала времени для рис.в 2 и 3 пересчитана с помощью масштабного коэффициента времени $t_m = l/c$ в размерную для двух глубин скважин – 3 и 5 км.

Относительная безразмерная шкала напряжений u для рис. 2 пересчитана в размерную с помощью масштабного коэффициента напряжений $u = gl^2/c^2$ также для глубин 3 и 5 км. Для заданных $v_к = 1,5$, $\alpha = 1,5$ графики показывают, что через 0,59 с после начала переходного процесса при длине колонны $x = 3000$ м максимальная деформация (смещение, сжатие) забойного конца колонны достигает 1,035 м, а при длине 5000 м – 4,14 м через 0,98 с. В эти же моменты времени верхний конец колонны при её длине, равной 3 км, растягивается по максимуму до 2,58 м, а при длине в 5 км – до 4,22 м.

Относительная безразмерная шкала нагрузки на забой для рис. 3 пересчитана в размерную с помощью масштабного коэффициента нагрузок $G = mg$ для тех же глубин 3 и 5 км. Графики

Таблица 1

Исходные данные для расчёта

Материал колонны	Модуль Юнга, ГПа	Плотность стали, кг/м^3	Плотность жидкости, кг/м^3	Скорость волны в стали, м/с
Сталь	$E = 200$	$\rho = 7800$	$\rho_ж = 1100–2300$	$c = 5063{,}69$

показывают, что через 1,18 с после начала переходного процесса для глубины скважины $x = 3000$ м нагрузка на забой превышает вес колонны (137 240 кг) более чем в два раза и достигает 289 576,4 кг (примерно 290 т), а для глубины 5000 м – до 315 730,4 кг или 316 т (при весе колонны 149 890 кг). После окончания ПП нагрузка на забой равна весу бурильной колонны труб.

Нагрузка на крюке через осцилляции прямых и обратных волн уменьшается от полного веса колонны до нуля через 0,59 с для колонны длиной 3 км и через 0,98 с для колонны длиной 5 км. Опасные перегрузки в течение ПП на крюке отсутствуют, и вес на крюке устанавливается в нулевое состояние через 4 и 6 с для длин колонны в 3 и 5 км соответственно.

В реальных условиях проводки скважины скорость посадки колонны на забой $v_к$ составляет около 1 м/с, вязкость μ бурового раствора достигает 0,05 Па·с, плотность $\rho_ж = 1200–2000$ кг/м^3, что при заданных конструктивных размерах (сечениях колонны и зазорах в скважине) соответствует параметру $\alpha \approx 0{,}1$ Па·с м/кг.

Результаты моделирования ПП при $v_к = 1$ и $\alpha = 0{,}1$ приведены на рис. 4. Расчёт выполнялся для интервала времени $t = 200$ о. е. и количестве точек колонны $k = 50$.

Из рис. 4 следует, что практически ПП, вызванный посадкой колонны на забой, заканчивается примерно к 160–200 о. е. времени, что соответствует 94,72–118,4 с (1,57–1,97 мин) для длины колонны 3000 м и 157,92–197,4 с (2,63–3,29 мин) для длины колонны 5000 м.

График показывает, что максимальное амплитудное значение нагрузки на забой составляет 1,489 о. е. нагрузки и достигается через 1,197 о. е. времени.

При переходе к абсолютным величинам это означает, что для глубины 3000 м максимум нагрузки на забой, равный 167688 кг (168 т) достигается через 1,17 с; для глубины 5000 м он составляет 171769 кг (172 т) и достигается через 1,96 с.

Таблица 2

Масштабные коэффициенты

При $L = 3000$ м	При $L = 5000$ м
$\beta = \frac{\mu \cdot 2\pi R}{d} = \frac{0{,}027 \cdot 2\pi \cdot 0{,}084}{0{,}0635} = 0{,}2243$ Па·с	$\beta = \frac{\mu \cdot 2\pi R}{d} = \frac{0{,}047 \cdot 2\pi \cdot 0{,}057}{0{,}0455} = 0{,}369$ Па·с
$\alpha = \frac{\beta}{S\rho} = \frac{0{,}2243}{0{,}00496127800} = 0{,}006 \frac{\text{Па·с·м}}{\text{кг}}$	$\alpha = \frac{\beta}{S\rho} = \frac{0{,}369}{0{,}0032667800} = 0{,}0145 \frac{\text{Па·с·м}}{\text{кг}}$
$g = g_0\left(1 - \frac{\rho_ж}{\rho}\right) = 9{,}81\left(1 - \frac{1400}{7800}\right) = 8{,}05$ м/с^2	$g = g_0\left(1 - \frac{\rho_ж}{\rho}\right) = 9{,}81\left(1 - \frac{1800}{7800}\right) = 7{,}55$ м/с^2
$t_m = \frac{L}{c} = \frac{3000}{5063{,}69} = 0{,}592$ с	$t_m = \frac{L}{c} = \frac{5000}{5063{,}69} = 0{,}987$ с
$u = \frac{g \cdot L^2}{c^2} = \frac{8{,}05 \cdot 3000^2}{5063{,}69^2} = 2{,}826$ м	$u = \frac{g \cdot L^2}{c^2} = \frac{7{,}55 \cdot 5000^2}{5063{,}69^2} = 7{,}361$ м
$G = mg = 112617{,}94$ кг	$G = mg = 115358{,}77$ кг
$v = \frac{g \cdot L}{c} = \frac{8{,}05 \cdot 3000}{5063{,}69} = 4{,}769$ м / с	$v = \frac{g \cdot L}{c} = \frac{7{,}55 \cdot 5000}{5063{,}69} = 7{,}455$ м/с

Примечание. d – ширина зазора кольцевого пространства между скважиной и колонной; m – масса колонны труб; L – длина колонны.

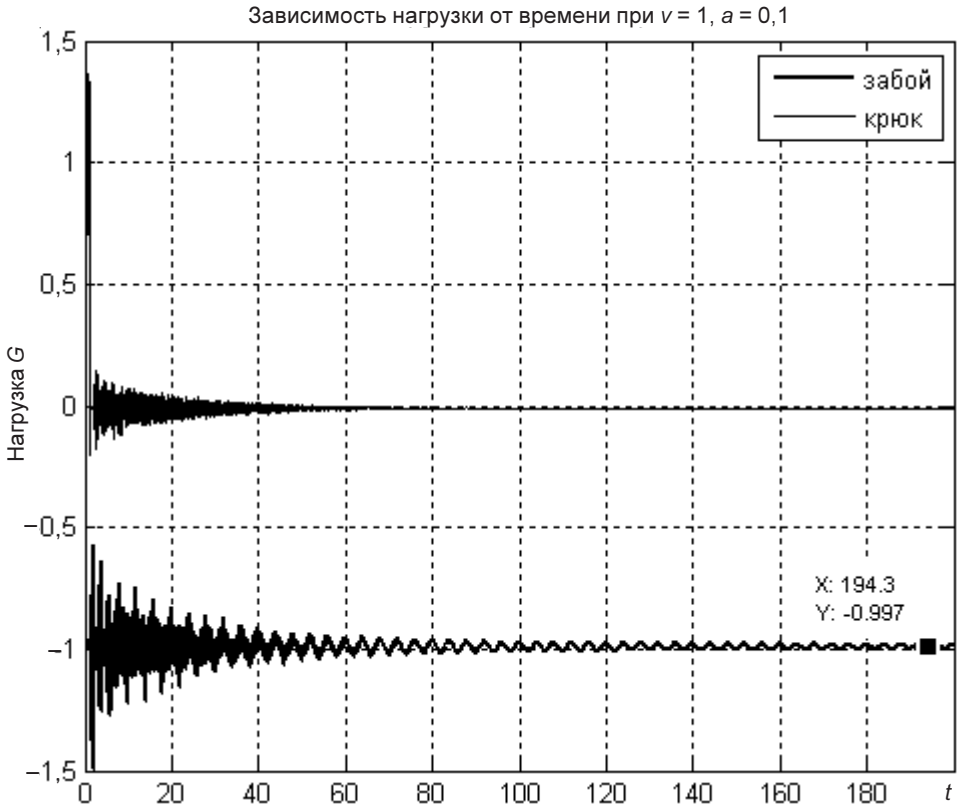


Рис. 4. Нагрузка G при $t = 200$, $k = 50$, $v = 1$, $a = 0{,}1$

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

ПП, вызванный посадкой бурильной колонны на забой, носит колебательный затухающий характер.

При увеличении скорости опускания колонны на забой амплитуда колебаний ПП увеличивается.

При увеличении вязкости бурового раствора длительность ПП уменьшается.

При скорости опускания колонны 1 м/с, вязкости бурового раствора 0,05 Па·с, длине колонны 3000 м максимум нагрузки на забой составляет 168 т и достигается через 1,17 с после начала ПП. Для длины колонны 5000 м максимум в 172 т достигается за 1,96 с. При этом длительность ПП в колонне длиной 3–5 км составляет от 2 до 3,5 мин.

Приборы, информационно-измерительные системы

УДК 691:620.179.1

А.В. Улыбин, С.Д. Васильков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗИСТИВНОГО ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На сегодняшний день в России и других странах эксплуатируется большое количество зданий и сооружений с несущими элементами, выполненными из стали. Возведение конструкций из данного материала продолжается ежедневно. Из-за большого срока эксплуатации конструкций зданий наблюдается высокий уровень износа, и часто требуется выполнение работ по ремонту, реставрации и реконструкции. Полнота и целесообразность проведения тех или иных восстановительных работ в большой степени зависят от технической грамотности и достоверности выполненного инженерно-технического обследования.

Одной из основных задач, решение которой необходимо для достоверной оценки технического состояния элементов конструкций, является задача по определению величины фактических механических напряжений в элементах конструкций, выявление их распределения по сечению и длине элемента, а также контроль за их изменением в процессе эксплуатации.

Для решения вышеуказанной задачи применяются и разрабатываются разнообразные методы неразрушающего контроля механических напряжений. Известные методы условно можно разделить на “внешние” относительно объекта исследования и “внутренние”. К “внешним” относятся уже давно применяемые и усовершенствуемые по сей день тензометрические методы, в которых контроль напряжений осуществляется по измерению макродеформаций элемента, при этом микродеформации и изменение структуры стали не учитываются. К таким методам относят механическую тензометрию с применением различных приборов: прогибомеров, тензометров и многочисленных конструкций тензорезисторов. К ним же можно отнести и метод углепластиковых волокон [1], а также условно неразрушающие методы “отверстия” и “столбика” [2].

“Внутренние”, или физические, методы основаны на регистрации различных физических параметров исследуемого материала (стали), значения которых изменяются вследствие микроизменений структуры материала, происходящих при изменении напряженного состояния. Большинство методов такого типа нашло свое применение в области машиностроения. Часть из них более или менее успешно адаптирована для применения при обследовании технического состояния строительных конструкций. К наиболее известным из них относятся рентгеновская дифрактометрия [3], ультразвуковые [4] и магнитные методы. К магнитным методам контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) относят метод магнитной памяти (ММП) [5], магнитоферрозондовый метод [6], метод на основе эффекта Баркгаузена (МЭБ)[7], метод магнитных меток и др.

Относительно новой запатентованной разработкой стала аппаратура СИТОН-ТЕСТ, основанная на резистивном электроконтактном (РЭ) методе для определения напряжений [8]. Метод основан на зависимости электрического сопротивления (обратной ему электрической проводимости) металла от его деформированного состояния, которая в общем виде может быть описана формулой (1):

$$d_0 = \frac{mkTV_T N_0 \pi}{e^2 E n_0} \gamma_0 = f \gamma_0 , \qquad (1)$$

где d_0 – период кристаллической решетки стали без воздействия нагрузки; γ_0 – электрическая проводимость стали без воздействия нагрузки;

E – модуль упругости стали; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура образца; m, e, n – масса покоя, заряд и число электронов в единице объема; N_0 – количество атомов в единице объема; V_T – скорость теплового движения электронов.

С помощью аппаратуры СИТОН-ТЕСТ (рис. 1) производится измерение эффективного удельного электрического сопротивления (ЭУС) на различной глубине от поверхности исследуемого металлического элемента. ЭУС соответствует удельному электрическому сопротивлению материала, умноженному на отношение расстояния между контактами датчика к ширине распространения тока. Величина ЭУС вводится ввиду уменьшения как глубины проникновения при увеличении частоты сигнала, так и ширины распространения тока в изделии при неизменных расстояниях между приемопередающими контактами. Таким образом, при увеличении частоты значение ЭУС увеличивается. При этом точность измерения электрических величин составляет 0,2–0,5 %. Основной целью метода является контроль остаточных напряжений в поверхностных слоях конструкций и изделий из металлов и сплавов. То есть напряжений, возникших в поверхностном слое металла в ходе изготовления, обработки и в процессе эксплуатации и сохраняющихся без воздействия эксплуатационной нагрузки.

С учетом того, что остаточные и эксплуатационные напряжения имеют одинаковую природу, было предположено, что РЭ метод можно использовать для контроля и оценки напряженно-деформированного состояния конструкций, обусловленного воздействием эксплуатационных нагрузок.

Для проверки данной гипотезы проведен ряд экспериментальных исследований, описанных ниже. Все проведенные эксперименты условно можно разделить на три группы:

1. Исследование зависимости ЭУС от одноосных напряжений растяжения-сжатия при деформировании стальных образцов.

2. Исследования зависимости ЭУС от одноосных напряжений растяжения-сжатия при деформировании крупномасштабной модели балки перекрытия.

3. Исследование зависимости ЭУС от различных факторов (зона расположения датчика, сила прижатия датчика, направление расположения датчика, вид обработки поверхности и др.).

В настоящей статье приведены результаты исследований по группам 1 и 2. Все исследованные модели выполнены из стали Ст3сп. Исследованные образцы изготовлены в виде

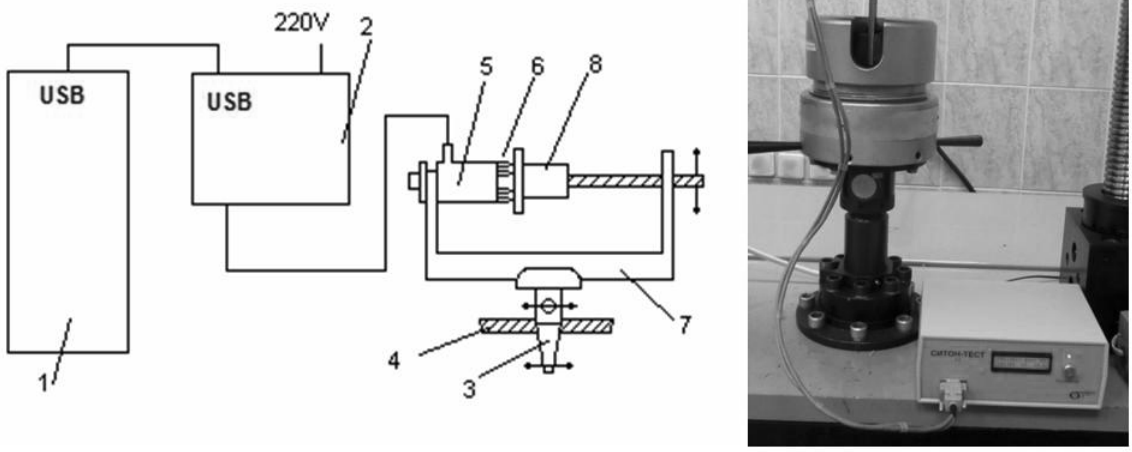


Рис. 1. Схема и внешний вид аппаратуры СИТОН-ТЕСТ
1 – компьютер; 2 – прибор "СИТОН-ТЕСТ"; 3 – тиски; 4 – рабочая поверхность; 5 – датчик ДУ 26/13; 6 – образец; 7 – струбцина; 8 – упорный наконечник

пластин по ГОСТ 1497-84 с уширением и без него. Растягивающие напряжения создавались с помощью разрывных машин FPZ 100/1 и Р-20. Сжимающие и растягивающие напряжения создавались в образцах путем поперечного изгиба по консольной схеме опирания, а в крупномасштабной модели – по шарнирной однопролетной схеме (измерения производились на сжатом либо растянутом волокне моделей). Значения напряжений растяжения-сжатия, возникающих в моделях, определялись с помощью формул сопротивления материалов по известным геометрическим характеристикам моделей, модулю упругости стали, а также условиям и величинам прикладываемых нагрузок.

Следует отметить, что в зависимости от исходного состояния, вида обработки поверхности, механической предыстории образцов начальные значения ЭУС в различных зонах поверхности могут значительно (±3 %) различаться. Поэтому в ходе исследований изучались зависимости ЭУС от напряжений в каждой конкретной точке образца (без потери контакта датчика прибора). При измерениях была выбрана наибольшая достижимая аппаратурой глубина 100 мкм.

В результате проведенных экспериментов установлена зависимость ЭУС от одноосных напряжений растяжения-сжатия. Частный случай зависимости, полученной при растяжении и сжатии стальной пластины, представлен на рис. 2.

В упругой зоне работы металла зависимость носит линейный характер и является прямо пропорциональной. По результатам корреляционно-регрессионного анализа получены линейные уравнения регрессии вида

$$\rho = \rho_н + 0{,}01\sigma, \qquad (2)$$

где $\rho_н$ – начальное значение ЭУС без дополнительных напряжений, мОм·мкм; σ – одноосное напряжение растяжения-сжатия, МПа.

Определенные в ходе более тридцати экспериментов зависимости характеризуется коэффициентом корреляции 0,9 и более.

При растяжении материала с дальнейшим переходом в пластическую стадию зависимость ЭУС изменяется на обратно пропорциональную (рис. 3). Основной предполагаемой причиной изменения зависимости ЭУС от растягивающих напряжений на обратно пропорциональную (значения ЭУС уменьшаются) становится влияние наклепа. Данное явление описано в издании Б.Г. Лившица [9] и объясняется тем, что пластинчатый перлит под влиянием деформа-

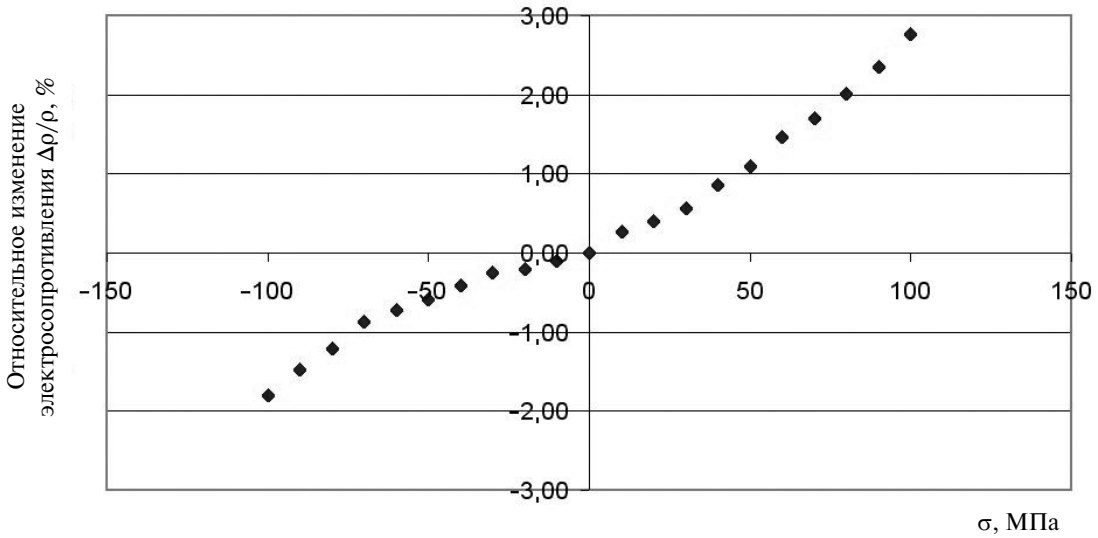


Рис. 2. Зависимость ЭУС от сжимающих и растягивающих напряжений при растяжении и сжатии стальной пластины

ции ориентируется своими пластинками вдоль направления растягивающих напряжений, что приводит к формированию так называемой "фибровой структуры". Уменьшение ЭУС в результате образования ориентированной структуры преобладает над его увеличением, происходящим вследствие наклепа феррита.

На рис. 4 представлена зависимость, полученная при разгрузке сжатия и растяжении шлифованной поверхности модели № 1. Как следует из графика, линейная прямо пропорциональная зависимость в области сжимающих напряжений после достижения 50 МПа растяжения меняется на обратно пропорциональную.

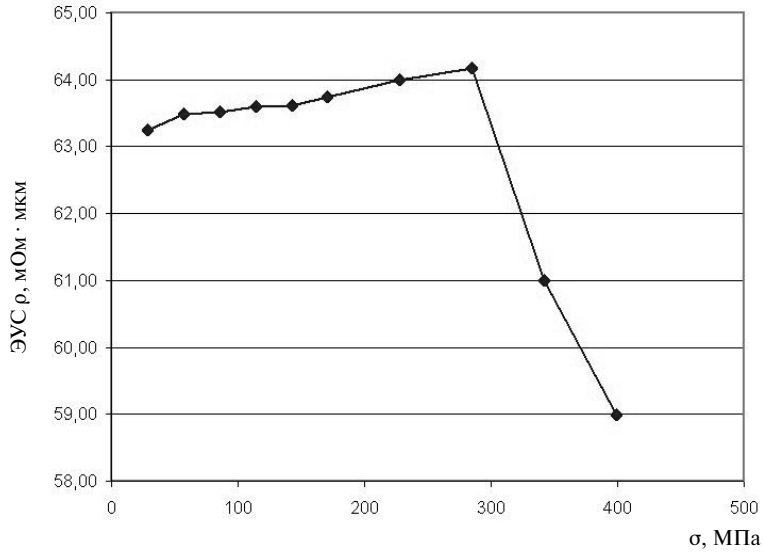


Рис. 3. Зависимость ЭУС от растягивающих напряжений в упругой и пластической зонах

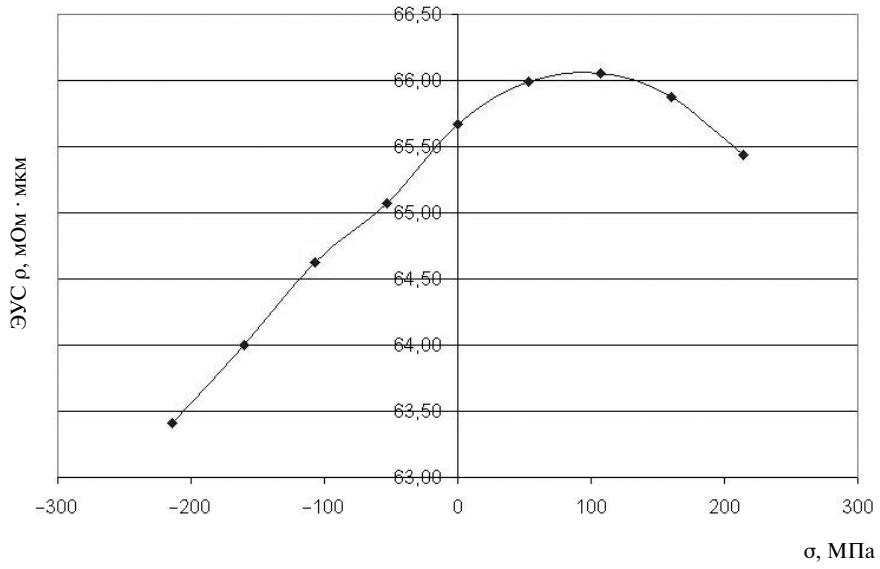


Рис. 4. Зависимость ЭУС от сжимающих и растягивающих напряжений на шлифованной поверхности образца

Данный эффект зафиксирован в десяти различных экспериментах и предположительно вызван тем, что в исследуемом поверхностном слое присутствуют растягивающие остаточные напряжения, обусловленные шлифовкой. Данное явление описано по результатам неоднократных исследований А.В. Якимовым [10]. Когда поверхностный слой сжимается, сумма остаточных и нагрузочных напряжений стремится к нулю, а затем переходит в область сжатия, тогда зависимость ЭУС от напряжений линейна. По приложении растягивающих напряжений остаточные напряжения суммируются с ними, что приводит к пластической деформации стали в поверхностном слое задолго до достижения расчетного предела текучести образцом в целом. Как было отмечено, при переходе металла в зону пластических деформаций зависимость ЭУС от напряжений меняет тенденцию на обратно пропорциональную, что и видно на графике (см. рис. 4).

При малоцикловом нагружении крупномасштабной модели двутавровой балки выявлен гистерезис, замыкающийся в ходе одного цикла растяжения-разгрузки (рис. 5).

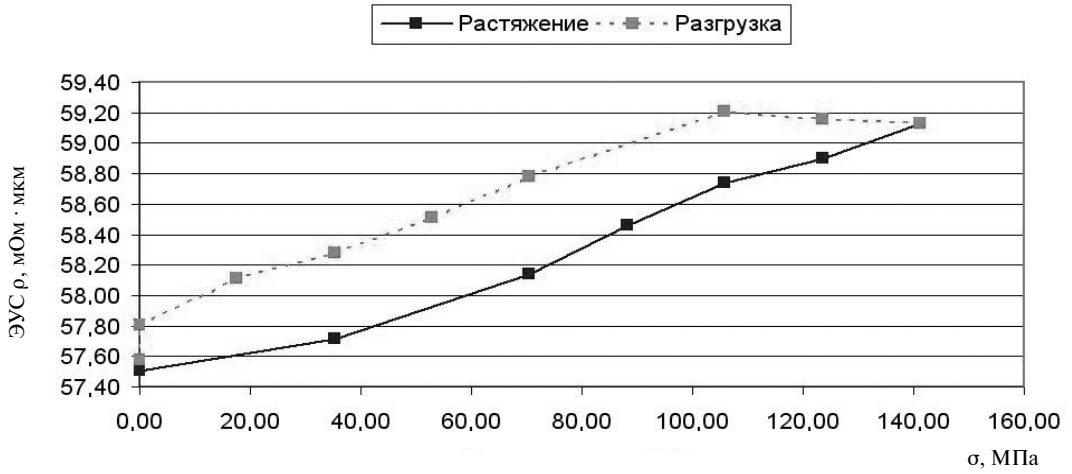


Рис. 5. Зависимость ЭУС от растягивающих напряжений в ходе одного цикла деформирования крупномасштабной модели двутавровой балки

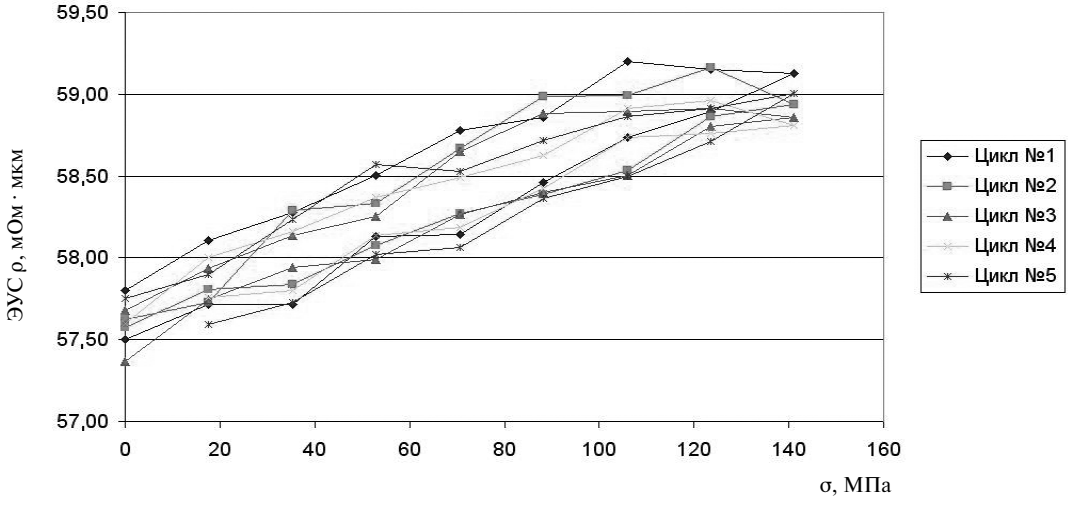


Рис. 6. Зависимость ЭУС от растягивающих напряжений в ходе пяти циклов деформирования крупномасштабной модели двутавровой балки

В ходе последующих четырех (из пяти) циклов нагружения гистерезисный характер зависимости сохранился. При этом смещения графика зависимости по оси ординат не произошло, т. е. при снятии нагрузки после каждого цикла ЭУС принимало значение, близкое к исходному (рис. 6). Таким образом, кривые всех пяти циклов загружения-разгрузки повторяют друг друга. Повысить точность можно за счет выполнения многократных измерений при каждом шаге нагружения.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

В результате экспериментальных исследований по применению РЭ метода для контроля эксплуатационных напряжений в стальных элементах выявлена линейная прямо пропорциональная зависимость ЭУС от одноосных напряжений растяжения-сжатия в зоне упругих деформаций. Связь между напряжениями и ЭУС характеризуется коэффициентом корреляции более 0,9.

При переходе металла в зону пластических деформаций, обусловленных как достижением предела текучести всем сечением элемента, так и влиянием остаточных напряжений поверхностного слоя, зависимость изменяется на обратно пропорциональную.

При нагружении и разгружении материала отмечается гистерезис. Петля гистерезиса замкнута.

При циклической загрузке и разгрузке зависимость в каждом цикле практически полностью повторяет предыдущий.

Чувствительность метода позволяет определять изменения напряженного состояния в пределах 40–50 МПа, что видно при многоцикловом эксперименте. Для увеличения точности в два-три раза требуется проводить многократные измерения на каждом шаге нагружения, что особенно важно при расчете напряжений.

РЭ метод можно применять для контроля изменения напряжений растяжения-сжатия в стальных конструкциях. При подборе необходимой калибровочной зависимости для каждого вида сталей можно производить количественную оценку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баурова Н.И.** Диагностирование состояния металлоконструкций с помощью углеродных волокон на примере буксировочного устройства // Контроль. Диагностика. 2008. № 12. С. 33–35.

2. **Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И.** Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий: Атлас схем и чертежей / Томский межотрасл. ЦНТИ. Томск, 1990. 316 с.

3. **Лексовский А.М., Баскин Б.Л., Улыбин А.В.** Применение рентгеновской тензометрии для определения напряженно-деформируемого состояния // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: Матер. XI науч.-метод. конф. ВИТУ / ВИТУ. СПб. 2007. С 57–62.

4. **Венгринович В.Л.** Принципы и практика диагностики напряженно-деформированного состояния конструкций, изделий и сварных соединений // В мире НК. 2005. № 1(27). С. 4–9.

5. **Дубов А.А.** Принципиальные отличительные признаки метода магнитной памяти металла и приборов контроля в сравнении с известными магнитными методами неразрушающего контроля // Контроль. Диагностика. 2003. № 12.

6. **Гордиенко В.Е.** К вопросу магнитного контроля и оценки НДС металла с применением графических и аналитических регрессионных зависимостей // Контроль. Диагностика. 2008. № 8. С. 52–55.

7. **Венгринович В.Л., Данкевич Ю.Б., Цукерман В.Л.** Новые возможности НК напряжений методом эффекта Баркгаузена // В мире НК. 2005. № 1(27). С. 36–39.

8. **Анастасиади Г.П., Васильков С.Д., Юрова Г.П.** Определение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из никелевых сплавов после механической обработки // Металлообработка. 2008. № 5 (47). С. 4–9.

9. **Лившиц Б.Г.** Физические свойства черных металлов и методы их испытаний. М.: Глав. ред. литер. по черн. металлургии, 1937. 256 с.

10. **Якимов А.В.** Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 176 с.

В.В. Федоров

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ “ИТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗДАНИЯ”

Сегодня современное здание или частное жильё независимо от своего масштаба может содержать в себе до сорока различных высокотехнологичных инженерных и телекоммуникационных систем и подсистем, таких, например, как электроснабжение и электроосвещение, жизнеобеспечение и безопасность, отопление, вентиляция и кондиционирование, СКС (структурированная кабельная сеть), ЛВС (локально-вычислительная сеть) и др.

Системы отличаются не только назначением и выполняемыми функциями, но и принципами работы (электрические, механические, электронные, гидравлические и т. д.), а также требуют необходимости прокладки большого числа разнородных кабельных трасс различного назначения и исполнения.

Каждая из этих систем поставляется производителем, как правило, в виде комплекта оборудования, на базе которого можно создать законченное решение с собственной системой контроля и управления. Такое решение приводит к возникновению множества проблем при проектировании и строительстве зданий и сооружений – квартир, коттеджей, бизнес-центров, гостиниц, аэропортов или, например, больниц.

Как отмечалось выше, в здании будет сосуществовать большое число разнородных сетей передачи данных для различных инженерных систем. Кроме удорожания монтажа владелец получает также усложнение дальнейшей эксплуатации и модернизации таких сетей.

Проблема стандартного подхода при строительстве здания – отсутствие единой централизованной системы управления и мониторинга. Каждый оператор обучается управлению одной системой определённого производителя и видит только то, что происходит внутри его системы. Помимо неэффективного использования управляющего и обсуживающего персонала это приводит к повышению вероятности так называемого “человеческого” фактора. Ведь часто для принятия правильного решения необходимо иметь информацию не об одном параметре, а о комплексе параметров в целом. Например, при срабатывании системы пожарной сигнализации недостаточно включить систему оповещения и локализировать пожар, следует также выключить систему приточно-вытяжной вентиляции и заблокировать дальнейшее использование лифтов и эскалаторов.

Отсутствие единой системы управления в случае частного жилья приводит к появлению десятка разноплановых пультов дистанционного управления для совершенно разных приборов и систем начиная от телевизоров и заканчивая системой кондиционирования. Часто чтобы активировать несложный сценарий, например, “просмотр кино”, необходимо найти несколько устройств управления и совершить ряд операций. Кроме инженерных сложностей по обслуживанию, адаптации и модернизации здания отметим также низкую информированность управляющей компании (в случае офисов или жильцов) о технических и экономических параметрах функционирования здания, сложной отчётности и невозможности мобильного и оперативного управления.

Во второй части статьи рассматривается модель “Интеллектуального здания”. В заключение делаются основные выводы.

Модель “интеллектуального здания”

Понятие *интеллектуального здания* (ИЗ) было дано Институтом интеллектуального здания (Intelligent Building Institute – IBI.) в Вашингтоне в 70-е годы прошлого века как “здание, обеспечивающее продуктивное и эффективное использование рабочего пространства благодаря оптимизации его четырех основных элементов: структуры, систем, служб и управления, а также взаимоотношений между ними. Интеллектуальное здание помогает владельцам здания, управляющей компании и обитателям реализовать свои задачи в областях эффективности, комфорта, простоты, безопасности, долгосрочной гибкости и рыночной продуктивности” [1].

В 2001 году организация EIBG (European Intelligent Building Group) дала своё определение:

"Интеллектуальное здание создаёт окружение, которое позволяет организациям достигать свои бизнес цели и максимизирует эффективность сотрудников, в то же самое время позволяя эффективно управлять ресурсами с минимальными затратами на всём протяжении срока службы здания".

Говоря об "интеллектуальном здании", различают два понятия: собственно Интеллектуальное здание (этот термин применяется для объектов офисной недвижимости) и "умный дом" (прежде всего жилые постройки).

Интеллектуальным зданием (от англ. Intelligent Building) называют объект с такой архитектурой управления инженерными системами, когда автономно функционирующие инженерные системы и интегрированные системы жизнеобеспечения здания объединены единой интеллектуальной системой управления зданием (Building Management System, BMS). Кроме того, должно быть не менее двух-трех тысяч информационных точек, через которые поступает информация с контролируемых инженерных систем.

Умный дом – система автоматизированного управления жильем (квартирой, коттеджем), объединяющая, кроме систем управления коммунальным хозяйством, развлекательные системы (аудио и видео) и т. д., а также подразумевающая управление всеми этими системами с универсальных многофункциональных пультов управления или с сенсорных компьютеров. На рис. 1 изображён пример "интеллектуального здания".

Опишем архитектуру системы управления зданием [2], приведённую на рис. 2.

Уровень управления зданием (Management Level). Система управления зданием, BMS, которую называют еще системой автоматизации и диспетчеризации инженерного оборудования, является ядром интеллектуального здания и представляет собой аппаратно-программный комплекс, осуществляющий сбор, хранение и анализ данных от различных систем здания, а также управление работой этих систем через сетевые контроллеры и различные интерфейсы.

Рис. 1. Инженерные системы в "интеллектуальном здании"

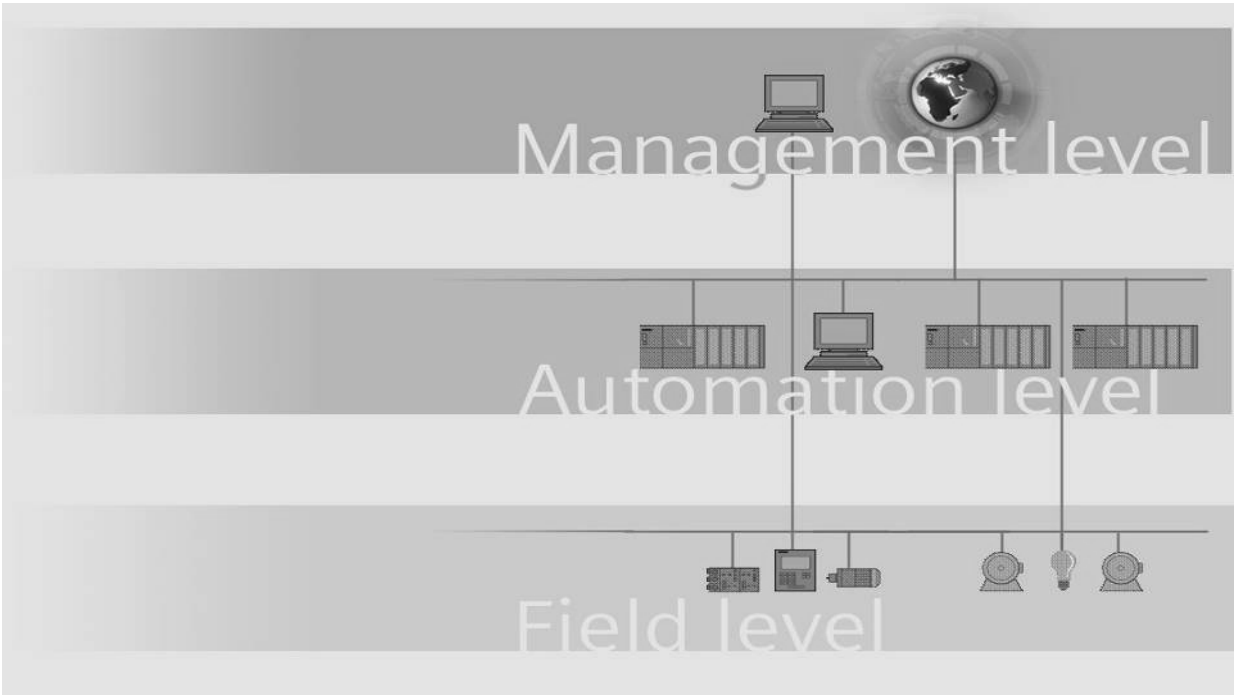


Рис. 2. Архитектура “интеллектуального здания”

На рис. 2 система управления зданием расположена на верхнем уровне архитектуры “интеллектуального здания”.

Уровень автоматического управления (Automation Level). Подсистема автоматического управления занимает второй уровень архитектуры. Основные компоненты данного уровня – сетевые контроллеры автоматического управления, модули ввода-вывода сигналов, электротехническое и коммутационное оборудование. В контроллерах реализуются основные алгоритмы приёма, вывода, обработки сигналов, алгоритмы автоматического управления.

Используя открытые протоколы, интерфейсы и стандарты передачи данных, контроллеры осуществляют контроль и управление работой подведомственных им инженерных систем, а также обмен данными с другими сетевыми контроллерами системы управления зданием. На основе собранной информации сетевые контроллеры могут автономно посылать управляющие команды на контроллеры инженерных систем в рамках заложенных в них алгоритмов реакций на события в штатных или нештатных ситуациях.

Взаимодействие контроллеров осуществляется с использованием открытых шинных технологий. На сегодняшний день можно выделить несколько видов наиболее востребованных типов протоколов открытых шинных технологий в системах “интеллектуальных зданий”: Ethernet, Modbus RTU/TCP, LONWorks, EIB/KNX, BACNet. Дадим краткую характеристику каждой из технологий, за исключением известной технологии Ethernet.

Протокол Modbus [3] — протокол передачи данных, основанный на архитектуре “клиент-сервер”. Разработан фирмой Modicon для использования в контроллерах с программируемой логикой и стал стандартом де-факто в промышленности и широко применяется для организации связи промышленного электронного оборудования. Протокол использует для передачи данных интерфейсы RS-485, RS-422, RS-232 (Modbus RTU), а также протоколы TCP/IP (Modbus TCP).

Протокол LonWorks (Local Operation Network, LON) – протокол для организации управляющих сетей [4]. Технология LonWorks широко используется для построения распределенных

систем автоматизации зданий. Несомненным преимуществом LonWorks является независимость от протокола физического уровня, свобода в выборе сетевых топологий, алгоритм разрешения коллизий.

Протокол EIB (European Installation Bus) – открытый протокол для автоматизации жилых и офисных помещений [5]. Шина EIB представляет собой децентрализованную систему с последовательной передачей данных управления, контроля и сигнализации эксплуатационно-технических функций. Подключенные абоненты могут обмениваться информацией через общий канал передачи, шину. При этом используются следующие передающие среды: витая пара, электрическая подводка, беспроводные линии связи. Стандарт EIB поддерживается более чем ста фирмами – производителями оборудования для автоматизации зданий, объединёнными с 1990 года в соответствующую ассоциацию – EIBA со штаб-квартирой в Брюсселе (Бельгия).

Протокол BACnet (Building Automation and Control network) применяется в системах автоматизации зданий и сетях управления [6]. Разработка протокола BACnet началась в июне 1987 года. Цель разработки состояла в создании унифицированного, не зависящего от производителей оборудования стандарта для передачи данных в системах автоматизации здания. BACnet стал в 1995-м году стандартом ASHRAE/ANSI (135) и в 2003-м – стандартом ISO (16484-5).

Уровень периферийных устройств (Field Level). Третий уровень иерархии "интеллектуального здания" включает в себя датчики, исполнительные механизмы, а также кабельные и беспроводные сети.

Датчики. В зависимости от решаемых задач в здании устанавливаются различные датчики – температуры, влажности и качества воздуха; давления и контроля протечек воды; датчики уровня освещённости; присутствия, задымлённости и др. По типу связи датчики также можно разделить на две группы – проводные и беспроводные. Проводные датчики, как правило, используют двух- или чётырёхпроводную линию и передают измеренные значения путём изменения уровня электрического сигнала. Датчики могут быть оснащены микроконтроллером и передавать свои значения в сеть в цифровом виде по протоколам EIB/KNX, LON или, например, MODBUS TCP.

Беспроводные датчики более удобны в монтаже, могут не требовать питания за счёт использования солнечной энергии или искусственного освещения. Можно выделить целую группу протоколов передачи данных в беспроводных сетях, наиболее востребованных на рынке систем "Интеллектуального здания" – это протоколы EnOcean [7], Z-Wave [8], ZigBee [9]. Последние два типа беспроводных сетей относятся к семейству сенсорных [10]. Датчики отличаются относительно невысоким энергопотреблением, большим радиусом действия (до 300 м), достаточной скоростью для передачи небольших объёмов данных, а также возможностью некоторых из них к построению самоорганизующихся сетей.

Исполнительные механизмы, или актуаторы. Класс исполнительных механизмов наиболее многообразен. Он включает в себя устройства управления инженерными системами, называемые также актуаторами [11]. Это могут быть электрические сервоприводы на коллекторы с отоплением, реле включения света, электроприводы ворот, диммера (устройства плавного регулирования яркости освещения), электрозамки и др. Актуаторы получают управляющую информацию по проводным и беспроводным сетям передачи данных.

Кабельные и беспроводные сети. Использование структурированных кабельных и сетей LAN/WAN/WLAN, открытых протоколов обмена данными между различными системами здания, распределённых сетевых контроллеров системы управления зданием, интеллектуальных проводных и беспроводных датчиков и актуаторов позволяет создавать инженерную инфраструктуру, которая имеет высокий потенциал для наращивания и быстрой модернизации. Следует отметить тенденцию всё большего распространения технологии Ethernet/TCP/IP в автоматизации зданий. Необходимость в дополнительной системе передачи данных для автоматизации отпадает.

Преимущества "Интеллектуального здания"

"Интеллектуальное здание", построенное по описанной выше модели, имеет целый ряд существенных преимуществ по сравнению со зданием, не оборудованным интеллектуальной инфраструктурой.

Система управления зданием (BMS) оптимизирует управление и мониторинг всех инженерных и инфокоммуникационных подсистем, увеличивает сроки безаварийной службы оборудования, а также производительность труда персонала, тем самым снижая операционные издержки на содержание большого штата диспетчеров и ремонтников, наконец, оптимизирует потребление ресурсов за счёт применения систем интеллектуального отопления, электроосвещения, охлаждения. Становится возможным взаимодействие подсистем. Благодаря конвергенции инфокоммуникационных и инженерных подсистем возможны, например, следующие сценарии: датчик движения системы безопасности определяет, находится ли сотрудник в помещении, и передаёт эту информацию в систему BMS. Основываясь на этих данных, а также на данных системы контроля доступа, система BMS посылает управляющий сигнал на SIP-сервер для включения переадресации стационарного SIP-телефона отсутствующего сотрудника на его мобильный номер. Как только срабатывает датчик движения и по своей карте доступа в помещение входит соответствующий сотрудник, переадресация выключается.

Впервые появляется возможность внедрять комплексные системы безопасности, которые объединяют в единую среду системы контроля доступа, охранного видеонаблюдения, пожарно-охранную сигнализацию и систему оповещения. Подсистемы взаимодействуют между собой и с другими (например, с подсистемой ОВК, отопления, вентиляции и кондиционирования), повышая уровень комфорта и безопасности людей.

Здесь необходимо упомянуть про экологию. Использование энергосберегающего оборудования, интеллектуальных систем управления и экологически чистых технологий (таких, как солнечные батареи) позволяет создавать безопасные для здоровья и экологически чистые условия работы людей. Так, в “интеллектуальном здании” можно будет снизить число заболеваний за счет обеспечения климатических условий в помещениях (температура, влажность воздуха и освещенность рабочих мест), наиболее комфортных для их обитателей.

Учитывая тот факт, что сегодня доля стоимости систем жизнеобеспечения, инфокоммуникационных и систем безопасности современного здания составляет в общей стоимости объекта от 30 до 50 %, решение вопроса о внедрении систем автоматизации и диспетчеризации здания будет отражаться не только на стоимости здания в будущем, но и на текущих расходах по обслуживанию и ремонту систем здания, на размерах ежемесячных платежей за коммунальные услуги и степени комфорта и безопасности работающих в здании людей. Доказано, что внедрение модели “интеллектуальное здание” окупается за период от трех до восьми лет, тогда как средний срок службы здания составляет не менее 40 лет.

Опыт применения концепций “интеллектуальное здание” и “умный дом” в России существенно меньше, чем в Европе, США и Японии, но интерес к данной тематике постоянно растёт. Уже несколько лет подряд в Москве проходит крупная международная выставка “HiTechHouse” [12], посвящённая системам автоматизации зданий и “умным домам”. Несколько раз в год в разных городах России проходят конференции и научные семинары “Интеллектуальное здание”. Появились и отечественные программно-аппаратные решения для данного рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стандарт АВОК-3-2003. Системы автоматизации и управления зданиями. Ч. 1. Общие положения. М.: АВОК-ПРЕСС. 2003.

2. EN ISO 16484-X. Building Automation and Control Systems – BACS.

3. http://www.modbus.org

4. http://www.lonmark.org

5. http://www.knx.org

6. http://www.bacnet.org

7. http://www.enocean.com

8. http://www.z-wavealliance.org

9. http://www.zigbee.org

10. Römer Kay. Friedemann Mattern (December 2004). The Design Space of Wireless Sensor Networks // IEEE Wireless Communications 11 (6). P. 54–61.

11. http://www.abb.com

12. **Головин А.** ВЫСТАВКА HI-TECH HOUSE: Бюллетень “Автоматизация зданий”. Ноябрь 2006. № 4.

УДК 666.1.037.5

В.С. Нагорный, Н.С. Пщелко, Н.П. Сидорова

Анализ динамики процесса формирования электроадгезионного контакта

Чтобы получить надежное соединение двух поверхностей (металлической и диэлектрической), следует повысить их адгезию. Сделать это способны два основных фактора.

1. Упрочнение места контакта разнородных тел может происходить в результате диффузии атомов и молекул обоих тел, что приводит к размыванию их границы раздела. Резкая граница раздела превращается в переходный слой, состав которого постепенно меняется от слоя к слою. Такой процесс, стимулируемый внешним давлением и повышенной температурой, лежит в основе известного метода диффузионной сварки.

2. Образование на контакте двойного электрического слоя. Плотность зарядов этого слоя велика как раз в случае контактирования существенно разнородных тел, например металла и диэлектрика, когда диффузионное срастание затруднено. Роль рассматриваемого фактора в явлениях адгезии, на наш взгляд, часто недооценивается. Действительно, как будет показано ниже, повышая за счет внешнего электрического напряжения плотность зарядов на контакте соединяемых тел, можно получить давления, обусловленные действием электростатических сил, на уровне используемых при диффузионной сварке ($\approx 10^7$ Па) и добиться не только временного, но и постоянного соединения деталей. Такой способ соединения деталей называется электроадгезионным и представляет собой предмет нашего рассмотрения. Роль двойного электрического слоя на границе контакта не сводится только к созданию электростатических (пондеромоторных) сил. Так, известна способность двойного электрического слоя обезвреживать эмбриональные трещины, образующиеся в плоскости адгезионного контакта и способные расширяться под влиянием внешних воздействий (сил или термических и усадочных напряжений). Объясняется это тем, что силы притяжения между разноименно заряженными обкладками двойного слоя убывают медленно и скорее в функции времени, а не расстояния, радикально отличаясь в этом отношении от молекулярных сил. Поэтому после кратковременного силового воздействия эмбриональные трещины способны под влиянием электростатических сил притяжения смыкаться. Аналогично двойной слой должен повышать и усталостную прочность адгезионных контактов при периодических воздействиях.

Электроадгезией называется взаимодействие объектов, например твердых тел, приводящее к их скреплению друг с другом от приложения к этим объектам электрического напряжения. Электроадгезия есть результат электростатического (пондеромоторного) притяжения электризованных тел, при котором заряды разных знаков оказываются разделены зазором между контактирующими поверхностями или тонким слоем одного из скрепляемых объектов, обедненным носителями заряда и имеющим поэтому повышенное сопротивление, примыкающее к поверхности раздела контакта. Большая часть приложенного напряжения поэтому падает на этот узкий слой, что и становится причиной появления больших электростатических полей и сил, приводящих к образованию прочного соединения, сохраняющегося и после отключения электрического напряжения за счет диффузионных и электрохимических поверхностных процессов, происходящих между соединяемыми телами. Получаемое таким способом соединение называется неуправляемым электроадгезионным контактом (НЭАК).

Сегодня весьма актуальна проблема повышения адгезии проводящих частиц (ферромагнетики, серебро, золото, молибден, хром, алюминий, медь, тантал и др.), содержащихся в движущихся каплях наносуспензированных рабочих жидкостей, к подложкам из различных диэлектрических материалов при управляемом

формировании проводящих пленочных топологий. Использование электроадгезии в данном случае представляется перспективным.

В ряде наших работ ранее были рассмотрены как теоретические основы получения электроадгезионных “склеек” [1,2], так и некоторые возможности их практического использования [3]. Было, в частности, получено, что прочность электроадгезионных соединений ионный диэлектрик – металл оказывается на уровне прочности аналогичных соединений, полученных диффузионной сваркой. Удалось также показать, что на основе использования электроадгезионной технологии можно значительно повысить адгезию наносимых на подложки пленок как после, так и в процессе их нанесения. Однако при вычислении величины возникающего в процессе электроадгезионного соединения пондеромоторного давления рассматривался установившейся процесс, т. е. считалось, что соединяемые детали достаточно длительно находятся под действием электрического поля. Фактически необходимое время выдержки определялось только экспериментально. Поэтому цель настоящей статьи – расчет переходного процесса при электроадгезионном соединении ионных диэлектриков с проводниками (полупроводниками) при подаче на контакт электрического напряжения. Определение количественного значения постоянной времени данного процесса позволит обоснованно выбирать время формирования соединения и повышать качество получаемых “склеек”

Важнейшую роль при формировании НЭАК играет миграционная поляризация. Она заключается в том, что под действием сил электрического поля свободные заряды в диэлектрике перемещаются к соответствующему электроду. В случае ионного диэлектрика свободными носителями заряда выступают обычно положительные ионы, поэтому при включении напряжения они начнут перемещаться (мигрировать) к катоду. При этом в месте, занимаемом положительным ионом до подачи напряжения, у анода, останется некомпенсированный заряд вакансии. Поскольку типичным ионным диэлектриком, используемым для получения НЭАК, является щелочное стекло, дальнейшее рассмотрение для определённости проведём на примере этого диэлектрика.

По мере развития миграционной поляризации отрицательные заряды вакансий начнут накапливаться в слое некоторой толщины x_m (рис. 1).

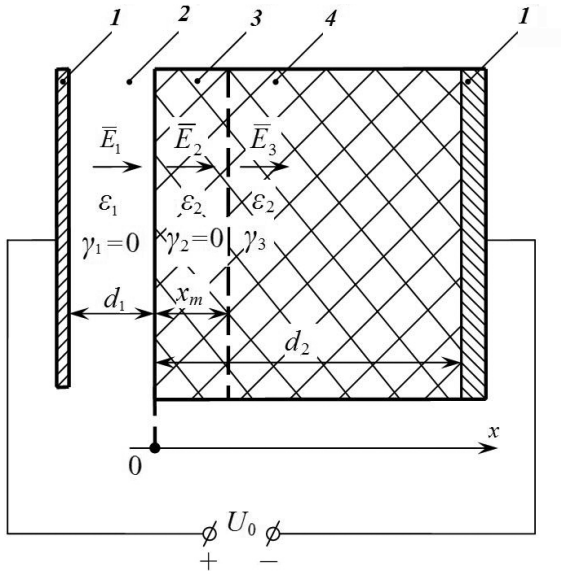


Рис. 1. Модель для расчёта переходного процесса в системе проводник – ионный диэлектрик при их соединении электроадгезионным способом
1 – металл; *2* – воздушный зазор, обусловленный шероховатостью контактирующих поверхностей; 3 – слой локализации объёмного вакансионного заряда в диэлектрике; *4* – слой диэлектрика, не содержащий зарядов

Если воздушный зазор не ионизован (т. е. его проводимость пренебрежимо мала, $\gamma_1 = 0$) и, следовательно, компенсации заряда вакансий не происходит, то при накоплении в x_m отрицательного заряда такой же величины, как и на катоде, напряжённость электрического поля E_3 в диэлектрике станет равна нулю и миграция ионов прекратится. Таким образом, все приложенное напряжение U_0 распределится между очень тонким воздушным зазором d_1 и слоем также малой (как будет показано ниже) толщины x_m.

На основе закона полного тока, теоремы Остроградского – Гаусса и второго закона Кирхгофа может быть записана следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \varepsilon_0\varepsilon_1 \dfrac{dE_1}{dt} = \varepsilon_0\varepsilon_2 \dfrac{dE_3}{dt} + \gamma_3 E_3 , \\ \varepsilon_0\varepsilon_2 E_2 = \varepsilon_0\varepsilon_1 E_1 - \displaystyle\int_0^x \rho\, dx' , \\ \varepsilon_0\varepsilon_2 E_3 = \varepsilon_0\varepsilon_1 E_1 - \displaystyle\int_0^{x_m} \rho\, dx , \\ U_0 = E_1 d_1 + \displaystyle\int_0^{x_m} E_2 dx + E_3(d_2 - x_m). \end{cases} \qquad (1)$$

Здесь E_1, E_2, E_3 – напряжённости электрических полей соответственно в воздушном зазоре, в слое локализации заряда и в части, не содержащей нескомпенсированных зарядов (рис. 1); t – время, отсчитываемое от момента включения напряжения U_0; γ_3 – удельная проводимость диэлектрика; удельные проводимости воздушного зазора и слоя локализации нескомпенсированного заряда считаются равными нулю, так как удельная проводимость воздуха на несколько порядков величины меньше γ_3 – при используемых температурах, а из слоя x_m удалены все свободные положительные ионы: в стекле это ионы Na^+, K^+ и т. п. (Правомерность последнего предположения подтверждается известными данными о том, что проводимость стекла, не содержащего ионов щелочных металлов, т. е. кварцевого стекла, примерно на семь порядков величины меньше проводимости, например, оконного стекла.); ρ – объёмная плотность заряда мигрирующих ионов проводимости; ε_1 и ε_2 – относительные диэлектрические проницаемости воздушного зазора и диэлектрика (стекла); ε_0 – электрическая постоянная.

Вообще говоря, диэлектрическая проницаемость слоя стекла толщиной x_m, из которой удалены ионы проводимости, должна отличаться от диэлектрической проницаемости остальной части стекла. Однако даже при удалении из этой области всех ионов щелочных металлов диэлектрическая проницаемость по данным литературных источников сильно не изменяется.

Решение системы уравнений (1) приводит к выражению, показывающему, что толщина x_m области локализации объёмного заряда изменяется в зависимости от времени следующим образом:

$$x_m(t)=\frac{\left(\sqrt{b^2+4ac}-b\right)\left(1-e^{-\sqrt{b^2+4ac}\cdot t}\right)}{2a\left(1-\frac{b-\sqrt{b^2+4ac}}{b+\sqrt{b^2+4ac}}e^{-\sqrt{b^2+4ac}\cdot t}\right)}, \quad (2)$$

где

$$\begin{cases} a=\dfrac{\varepsilon_1\gamma_3}{2\varepsilon_0\varepsilon_2(\varepsilon_1 d_2+\varepsilon_2 d_1)}, \\ b=\dfrac{\gamma_3 d_1}{\varepsilon_0(\varepsilon_1 d_2+\varepsilon_2 d_1)}, \\ c=\dfrac{\varepsilon_1\gamma_3 U_0}{\rho(\varepsilon_1 d_2+\varepsilon_2 d_1)}. \end{cases} \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что $x_m(t)$ – выходящая из начала координат сублинейная кривая, стремящаяся к значению

$$x_{m\infty}=\frac{\sqrt{\varepsilon_2^2 d_1^2+\dfrac{2\varepsilon_0\varepsilon_1^2\varepsilon_2 U_0}{\rho}}-\varepsilon_2 d_1}{\varepsilon_1} \quad (4)$$

с постоянной времени

$$\tau_0=\frac{1}{\sqrt{b^2+4ac}}=\frac{\varepsilon_0(\varepsilon_1 d_2+\varepsilon_2 d_1)}{\gamma_3\sqrt{d_1^2+\dfrac{2\varepsilon_0\varepsilon_1^2 U_0}{\rho\varepsilon_2}}}. \quad (5)$$

Полученное значение τ_0 соответствует характерному времени миграции ионов проводимости под действием электрического поля в слое толщиной x_m. С учетом того, что эти ионы реально не являются свободными, а вылетают из мест своего закрепления с частотой тем меньшей, чем больше энергия активации ионов, полное значение постоянной времени переходного процесса в рассматриваемом случае примет вид [4]

$$\tau=\tau_0\exp\left(\frac{W}{kT}\right), \quad (6)$$

где W – энергия активации мигрирующих ионов; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

Таким образом, с учетом указанного частотного фактора и на основе (2) и (6) заключаем, что динамика толщины $x_{mf}(t)$ области локализации объёмного прианодного заряда в ионном диэлектрике при получении электроадгезионного соединения с ним описывается выражением

$$x_{mf}(t)=\frac{\left(\sqrt{b^2+4ac}-b\right)\left(1-\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)}{2a\left(1-\frac{b-\sqrt{b^2+4ac}}{b+\sqrt{b^2+4ac}}\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)}. \quad (7)$$

Формулы (5) и (6) позволяют определить значение постоянной времени процесса развития миграционной поляризации при получении НЭАК и тем самым обоснованно выбрать время выдержки этого контакта под электрическим напряжением при реализации электрокаплеструйных технологий.

Аналогично $x_{mf}(t)$ будет изменяться напряжённость электрического поля E_1 в воздушном зазоре:

$$E_1(t) = \frac{\varepsilon_2 U_0}{\varepsilon_1 d_2 + \varepsilon_2 d_1} + \frac{\rho x_m \left(d_2 - \frac{x_m}{2} \right)}{\varepsilon_0 (\varepsilon_1 d_2 + \varepsilon_2 d)}. \qquad (8)$$

Наибольший интерес представляют установившиеся значения толщины слоя локализации объёмного заряда $x_{mf}(t)$ и напряжённостей тянущих полей E_1 и E_2. Именно эти значения указанных величин определяют значение развиваемого пондеромоторного давления при получении НЭАК. Вместе с тем при практическом использовании электроадгезионных технологий (в частности, в электрокаплеструйных технологиях) не меньший интерес представляет знание обоснованного значения времени выдержки НЭАК под напряжением.

Некоторые результаты расчётов на основе полученных выражений и с использованием методики, представленной в [1], приведены на рис. 2, 3 и 4. Для всех трех рисунков: $d_2 = 2$ мм; $d_1 = 0{,}1$ мкм; $\varepsilon_1 = 1$; $\varepsilon_2 = 4{,}5$; $p_0 = 10$ МПа; $W = 1{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж; $\gamma_3 = 1{,}89 \cdot 10^{-7}$ (Ом·м)$^{-1}$; $n_0 = 10^{28}$ м$^{-3}$

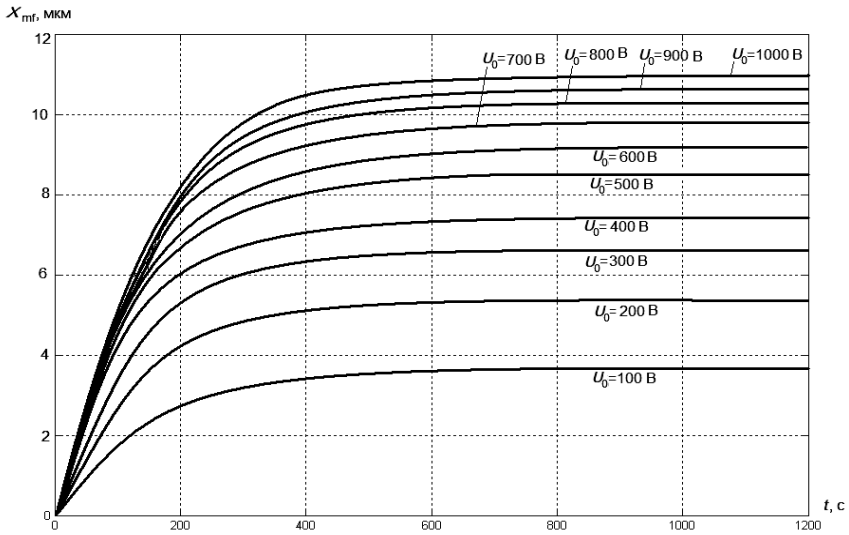


Рис. 2. **Динамика зависимости толщины** x_{mf} области локализации объёмного заряда от времени при различных значениях приложенного напряжения. $T = 500$K

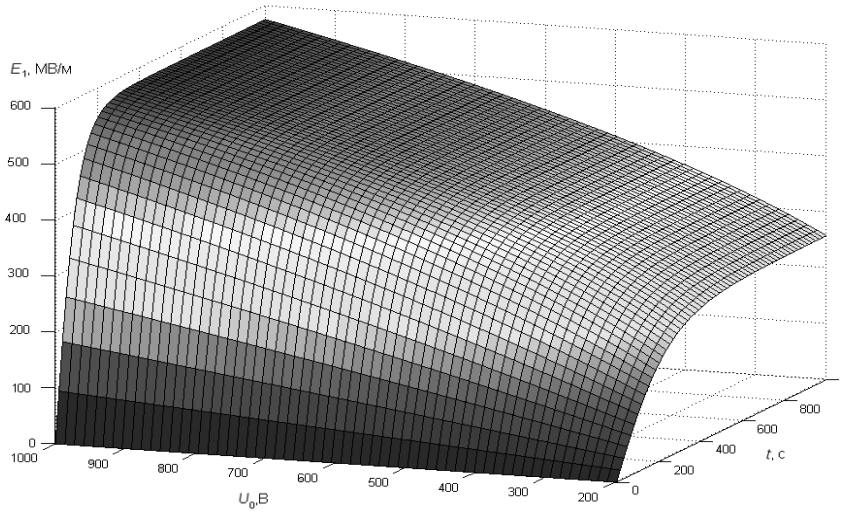


Рис. 3. Зависимость напряжённости электрического поля в воздушном зазоре от времени и приложенного напряжения. $T = 500$K

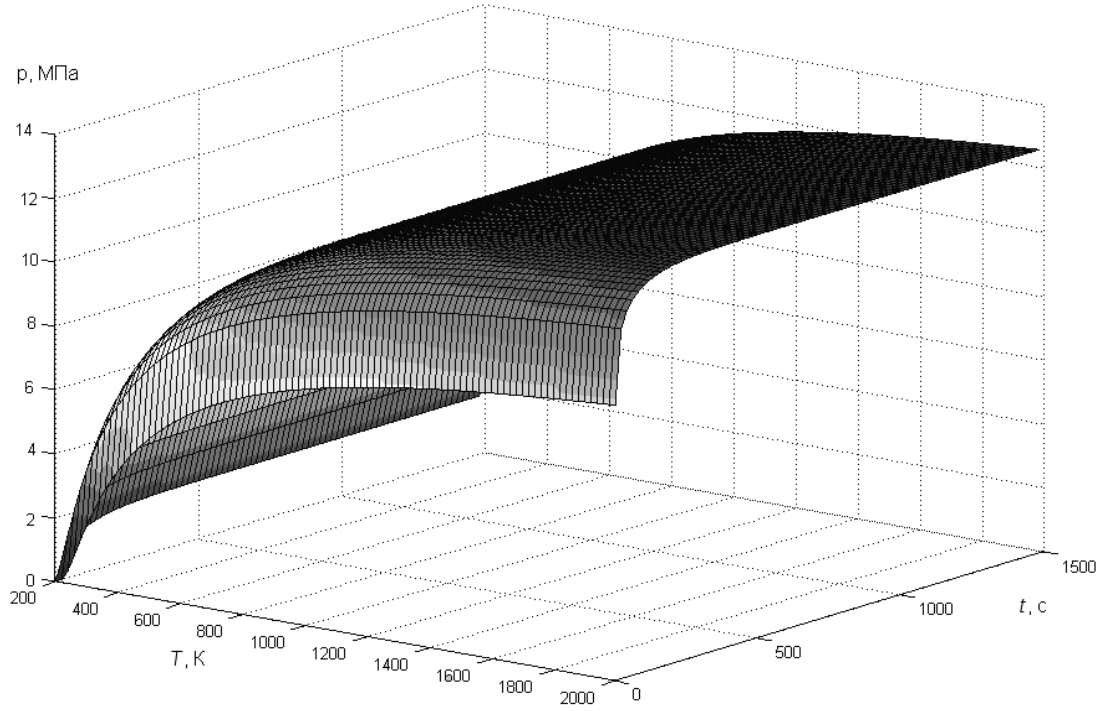


Рис. 4. Зависимость пондеромоторного давления от времени и температуры при формировании НЭАК проводник – ионный диэлектрик. $U_0 = 400$

Из приведенных примеров видно, что для достижения необходимого пондеромоторного давления, составляющего единицы и десятки мегапаскалей, в типичных случаях требуется время порядка десятков минут. Более точные цифры могут быть определены в каждом конкретном случае на основе приведенных в настоящей статье выражений.

Работа выполнена в соответствии с проектом № 2.1.2/6494 АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Нагорный В.С., Пщелко Н.С.** Теоретические основы повышения адгезии проводящих слоев к диэлектрическим подложкам // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика, телекоммуникации, управление. 2009. № 4(82). С. 217–221.

2. **Пщелко Н.С., Стоянова Т.В.** Влияние шероховатости поверхностей электроадгезионного контакта на его силовые характеристики // Цветные металлы. 2008. № 5. С. 51–57.

3. **Нагорный В.С., Пщелко Н.С.** Экспериментальное исследование способов повышения адгезии проводящих частиц к диэлектрическим подложкам // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика, телекоммуникации, управление. 2009. № 3(80). С.185–190.

4. **Орешкин П.Т., Клочков А.Я., Зубков М.В., Патрин С.В.** Долговременная релаксация неравновесной проводимости в поверхностно-барьерных структурах полупроводников // ФТП. 1984. Т. 18, № 8. С. 1503–1505.

УДК 378.4

Ю.А. Ветринский, В.А. Сороцкий, И.А. Цикин

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ФОРМАТАХ IMS И SCORM

Электронные курсы, разрабатываемые средствами программных систем управления обучением (Learning Management Systems – LMS), представляют собой учебно-методические комплексы, объединяющие неоднородный образовательный контент различной степени вложенности с компонентами интерактивного взаимодействия и администрирования. Каждый учебный элемент помимо своего места в общей структуре курса характеризуется широким набором свойств, определяющих стиль его визуального представления, степень доступности, порядок взаимодействия с другими элементами и участниками курса. На физическом уровне курс представляет собой иерархическую систему каталогов файлов, объединенных метаданными, которые описывают структуру курса, определяют находящиеся в нем элементы и внешние ссылки, необходимые для их работы. Метаданные представляются в форме XML-документа, содержащего выходные данные курса и полный список его учебных материалов. Файл метаданных первым активизируется в LMS при распаковке электронного курса.

Курсы, разработанные в LMS различных типов, могут различаться между собой по организации и формату представления учебных элементов, и в первую очередь это обусловливается отличиями в содержании файлов метаданных.

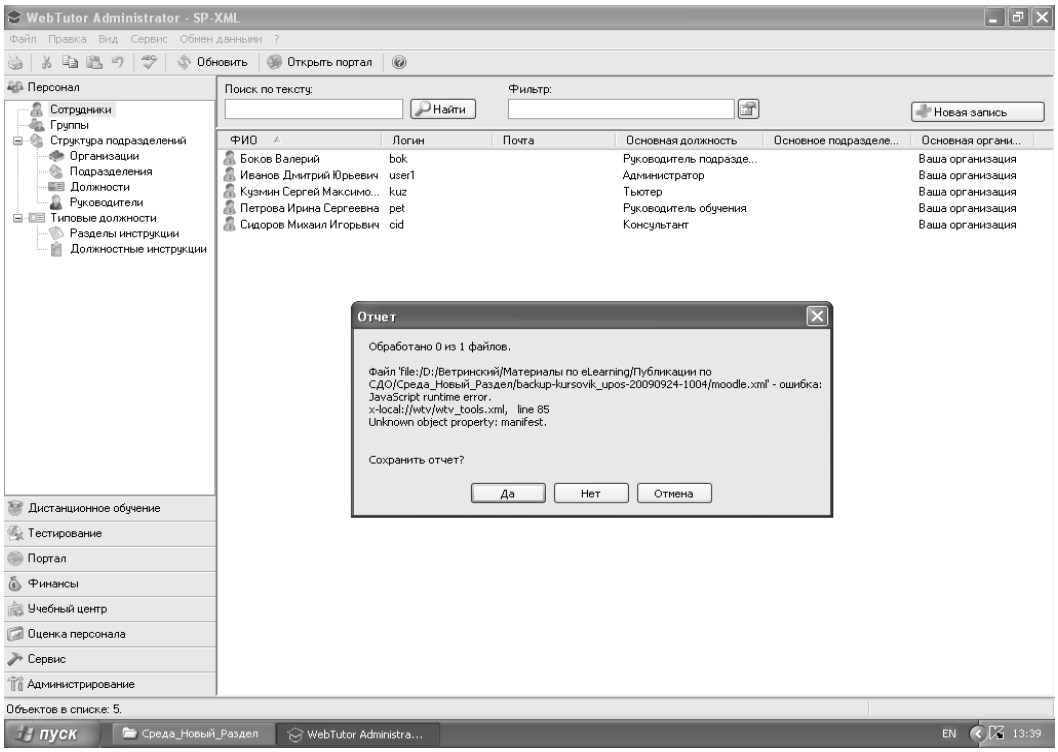


Рис. 1. Результат запуска пакета курса в формате LMS Moodle в LMS WebTutor

При попытке распаковать и запустить пакет электронного курса, созданного средствами LMS отличной номенклатуры, импортирующая пакет LMS может не распознать файл метаданных и, как следствие, прекратить его обработку. Пример подобной ситуации приведен на рис.1, где показаны результаты попытки запустить пакет электронного курса, разработанного средствами LMS Moodle, через интерфейс LMS WebTutor 2, активировав файл метаданных moodle.xml.

Невозможность запуска курсов, созданных в LMS отличной номенклатуры, накладывает существенные ограничения на межвузовский обмен электронными курсами в рамках сетевого взаимодействия, использование объектов из удаленных хранилищ образовательных ресурсов, перенос электронных материалов в новую учебную среду при переходе вуза на другой тип LMS и т. п. Естественным решением проблемы является общепринятая в мировой практике стандартизация форматов представления электронных образовательных ресурсов.

Из действующих в области электронного обучения стандартов наибольший практический интерес представляют международные стандарты IMS и SCORM [1]. Это обусловлено заложенными в них возможностями расширения и поддержкой абсолютным большинством существующих программных систем разработки и доставки электронного контента.

Стандарт IMS (Instructional Management System) разработан международным образовательным консорциумом IMS Global Learning Consortium, образованным ведущими промышленными IT-компаниями, университетами и правительственными органами ряда стран. Спецификации IMS содержат описания компоновки учебных материалов и их метаданных, типовых средств тестирования, данных о студентах, хранилищ цифровых образовательных ресурсов и связей между ними. Совместимость образовательных ресурсов стандарта IMS с широкой номенклатурой LMS обеспечивается за счет использования специального формата описания учебных материалов, основанного на языке разметки XML. Пакеты электронных курсов снабжаются метаданными, содержащими сведения о структуре курсов и размещении в них учебных материалов. Метаданные записываются в файл манифеста imsmanifest.xml.

Основная направленность спецификаций IMS – обеспечение распределенного процесса обучения, интероперабельности обучающих систем, обмена данными о студентах между электронными деканатами в системах открытого образования. Таким образом, следование спецификациям IMS целесообразно, в первую очередь, при создании единых информационно-образовательных сред национального и международного масштаба с распределенными библиотеками учебных материалов. Пример подобной среды – российская информационно-образовательная среда открытого образования (ИОС ОО), в которой описание ресурсов распределенной библиотеки производится с помощью Универсальной модели представления информации в образовательных системах на базе расширений стандарта IMS [2].

Стандарт SCORM (Sharable Content Object Reference Model) развивается группой Advanced Distributed Learning (ADL). Стандарт разрабатывался на основе адаптированных спецификаций стандартов IEEE, AICC и IMS, из которых, по существу, было отобрано самое лучшее. Заимствования прослеживаются даже на уровне файловой организации курсов и учебных объектов – метаданные располагаются в файле imsmanifest.xml по аналогии с IMS. На текущий момент известны две версии стандарта – SCORM 1.2 и SCORM 1.3 (более известный как SCORM 2004).

Специфика SCORM заключается в модульном построении учебных курсов из разделяемых объектов контента (Sharable Content Object – SCO), представляющих собой автономные единицы учебного материала, имеющие собственные метаданные и содержательную часть.

В отличие от IMS спецификации SCORM ориентированы в большей степени на обеспечение переносимости электронных образовательных ресурсов, а не на администрирование распределенного процесса обучения в виртуальных учебных заведениях. Так, например, метаданные пакетов SCORM задаются Дублинским набором элементов (Dublin Core), не содержащим данных о моделях обучаемых, необходимых для работы электронных деканатов. Ориентированность на учебный материал обеспечила особую популярность стандарта SCORM среди университетов, не использующих в учебном процессе ресурсы ИОС ОО.

На рынке образовательных услуг представлена широкая номенклатура инструменталь-

ных средств автоматизированной разработки и упаковки информационных образовательных ресурсов в соответствии с перечисленными стандартами и спецификациями. По назначению и функциональным возможностям их можно разделить на редакторы электронных курсов, редакторы метаданных пакета и специализированные макросы, генерирующие SCO на базе файлов, подготовленных в программах Word, Power Point.

Редакторы курсов (конструкторы курсов, авторские системы) предназначены для быстрой разработки обучающих приложений, законченных электронных курсов и учебных пособий. Простые редакторы курсов типа eXe предоставляют возможность импорта учебных объектов и разработки образовательного контента с использованием набора функций, позволяющих вставлять и редактировать тексты, дополнять их рисунками, java-апплетами, видеороликами, ссылками на сайты и т. п. (рис. 2).

Учебные объекты располагаются в соответствии со структурой курса, определяемой разработчиком. Интерактивные элементы, создаваемые редактором (в том числе и тесты), могут вставляться в более сложные учебные объекты или представляться в виде самостоятельных SCO. По завершении разработки объекта автору предоставляется возможность задать его метаданные в специальной форме, исключающей необходимость ручного программирования на XML. По метаданным SCO редактор формирует манифест курса в соответствии со спецификациями выбранного стандарта. Упаковка курса в пакет SCORM (IMS) осуществляется простой активизацией соответствующей функции.

Профессиональные редакторы курсов предоставляют дополнительные возможности использования шаблонов и мастеров, обеспечивающих быструю реализацию стандартных составляющих учебного процесса (авторизация студентов в системе, учебный план, опросы, тесты и т. д.).

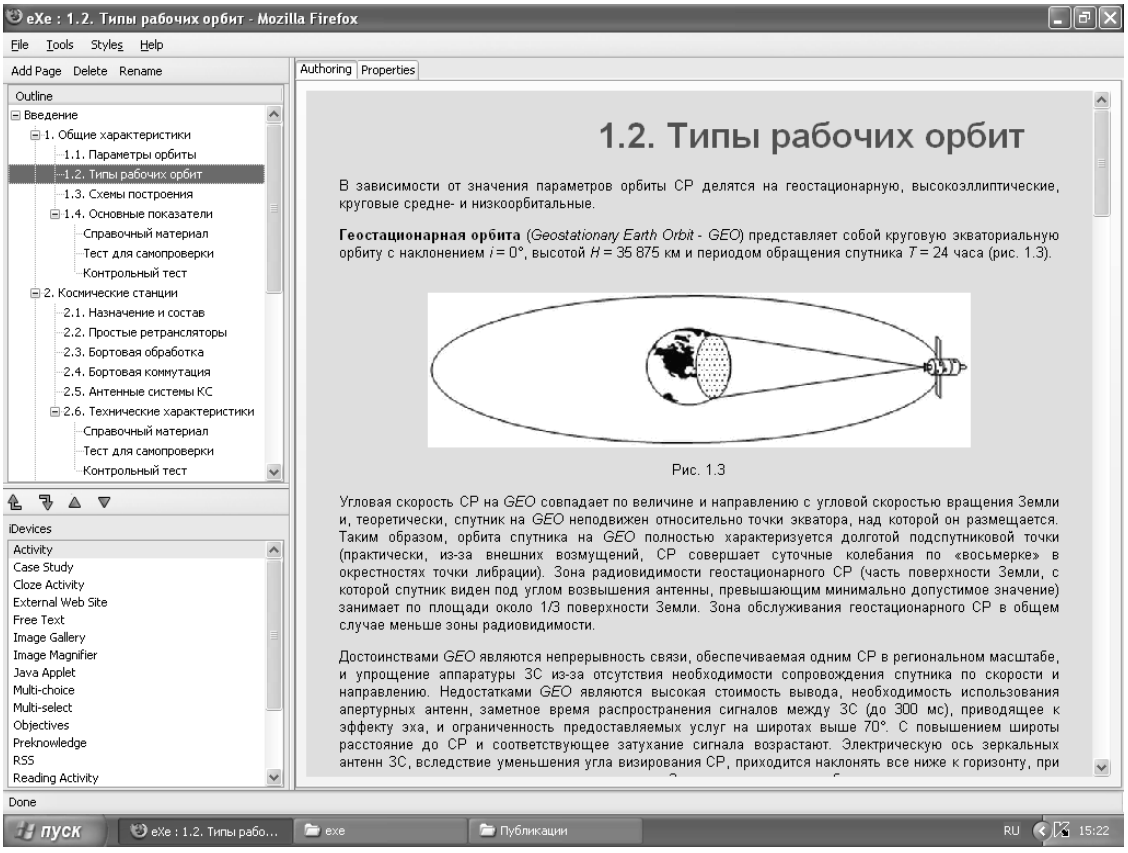


Рис. 2. Разработка учебного курса в редакторе курсов eXe 1.7

Нашедшие применение в российских вузах коммерческие (к) и свободно распространяемые (с) редакторы курсов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Полнофункциональные редакторы электронных курсов

Название	Страна	Тип	Стандарты
eAuthor CBT	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
CourseLab	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
Competentum.АВТОР	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
Authorware	США	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
ToolBook	США	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
MOS Solo	Швейцария	с	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
eXe	Н. Зеландия	с	IMS, SCORM 1.2
Мета	Россия	с	Модель ИОС ОО

Редакторы метаданных позволяют быстро создавать обучающие модули любой степени сложности, компилируя наборы готовых объектов (HTML, изображения, видео и т. п.) и снабжая их метаданными в соответствии с выбранным стандартом. Функций редактирования содержимого образовательного контента и разработки собственных учебных объектов (документов, тестов, опросов) в редакторах метаданных не предусмотрено, более того, разработчик в большинстве случаев лишён возможности открывать импортируемые учебные объекты для просмотра. Это существенно снижает возможности редакторов метаданных по сравнению с редакторами курсов, что обусловливает невысокую популярность данного класса инструментальных средств на рынке российского электронного обучения.

Наиболее распространенные в отечественной вузовской среде редакторы метаданных приведены в табл. 2.

Таблица 2

Редакторы метаданных электронных курсов

Название	Страна	Тип	Стандарты
DeltaLearn	США	к	SCORM 1.2, SCORM 2004
RELOAD Editor	Великобритания	с	SCORM 1.2, SCORM 2004
Manifest Maker	США	с	IMS, SCORM 1.2

Специализированные макросы позволяют создавать SCORM-модули многократного применения на базе документов, выполненных в редакторах Microsoft Word и Adobe Acrobat, мультимедийных презентаций Power Point и т. п. В готовые файлы указанных редакторов вносятся соответствующие метаописания, ссылки на медиа-объекты, производится их разметка дополнительными стилями, на основе которых далее генерируются стандартные SCO. Несмотря на ограниченность функций, макросы достаточно широко применяются в практике отечественного электронного обучения, что обусловлено большим числом текстовых документов, которые необходимо перевести в форму, совместимую с LMS [3].

Наиболее популярные в российских вузах SCORM-макросы, работающие с программами MS Word и Power Point, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Специализированные макросы для редакторов текста и слайдов

Название	Страна	Тип	Стандарты
Wimba Create	США	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
PowerPointForce	Беларусь	к	SCORM 1.2, SCORM 2004
Microsoft Producer	США	с	IMS, SCORM 1.2

Доставка электронных образовательных ресурсов в форматах IMS и SCORM может осуществляться средствами LMS или при помощи программ-проигрывателей курсов, таких, например, как Reload SCORM Player. На практике проигрыватели используются редко, и доставка электронного контента обучаемым, как правило, осуществляется средствами LMS.

Возможности систем класса LMS, составляющих основу информационно-образовательных сред отечественных вузов, позволяют им импортировать учебные курсы в большинстве стандартных форматов без каких-либо потерь в структуре, содержании или интерактивности (табл. 4) [4].

Таблица 4

Поддержка международных стандартов типовыми LMS

Название	Страна	Тип	Стандарты
Виртуальный университет	Россия	к	Модель ИОС ОО
eLearning Server	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
Прометей	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
WebTutor	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
ДОЦЕНТ	Россия	к	IMS, SCORM 1.2, SCORM 2004
Moodle	Австралия	с	IMS, SCORM 1.2

Механизм импорта SCORM (IMS) курсов и учебных объектов в LMS отличной номенклатуры могут различаться. В ряде LMS есть специальные функции импорта SCORM и IMS пакетов, при активации которых производится автоматическая разархивация и распаковка пакетов, устанавливаемых в систему с сохранением структуры и содержания (рис. 3). В других разновидностях LMS требуется распаковывать архив импортируемого пакета и вручную активировать файл манифеста imsmanifest.xml.

Доставка материалов распакованного курса производится с помощью внутренних браузеров системы или подключаемых внешних стандартных браузеров типа Internet Explorer (рис. 3, 4).

Проверки показывают, что импорт электронных образовательных ресурсов (курсов, учебных объектов) в форматах IMS и SCORM в LMS различной номенклатуры производится без каких-либо осложнений.

Программные системы класса LMS, изначально создаваемые для размещения электронных образовательных ресурсов и организации доступа к ним, на определенном этапе стали активно использоваться и для их разработки. Удобство создания курсов и организации доступа к ним в одной программной среде в сочетании с широкими возможностями импорта и редактирования учебных объектов привели к тому, что значительная часть образовательных ресурсов стала создаваться средствами LMS. Это привело к сложностям при обмене, продаже и перемещении образовательных ресурсов в другие среды вследствие несовместимости форматов упаковки учебных материалов различных LMS. Выходом из сложившейся ситуации может стать возвращение к традиционному разделению ролей, при котором основная работа по разработке учебных материалов выполняется специальными инструментальными средствами с представлением полученных продуктов в форматах пакетов IMS и SCORM.

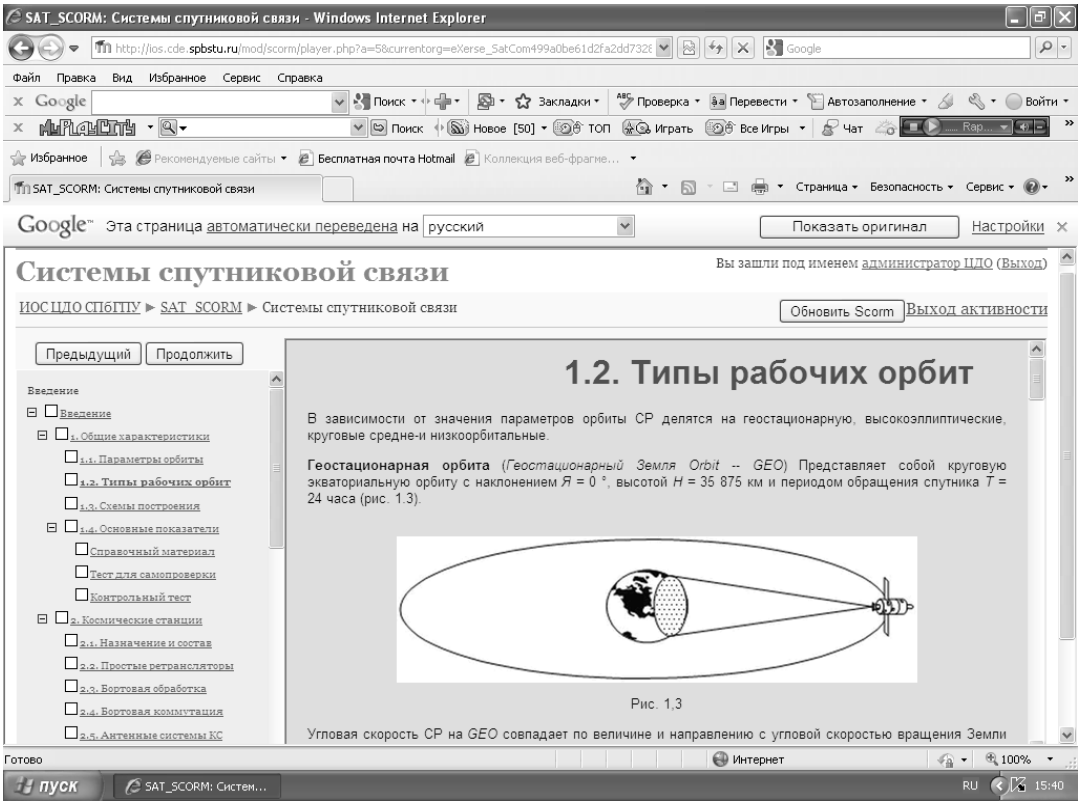


Рис. 3. Результат запуска пакета курса в формате SCORM 1.2 в LMS Moodle

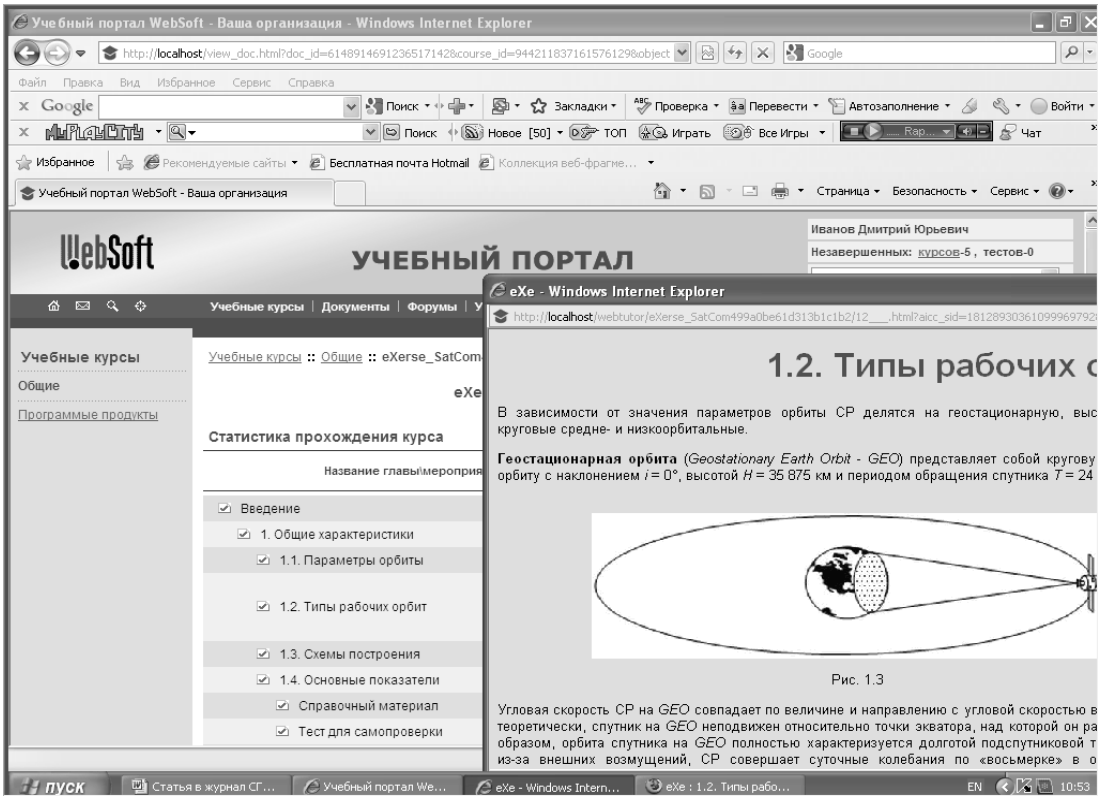


Рис. 4. Результат запуска пакета курса в формате SCORM 1.2 в LMS WebTutor

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кочетурова Н.А.** Стандарты в электронном обучении // Информационные технологии в образовании. 2004. № 3.

2. Открытое образование: стандартизация описания информационных ресурсов / **Е.И. Горбунова**, С.Л. **Лобачев, А.А. Малых, А.В. Манцивода,** А.А. **Поляков, В.И. Солдаткин. Отв. ред. С.Л. Лобачев** и А.В. **Манцивода. М.: РИЦ "Альфа" МГОПУ им.** М.А. **Шолохова. 2003.**

3. **Кручинин В.В.** Реализация комплекса инструментальных систем для создания и сопровождения программно-методического обеспечения в рамках инновационного проекта ГПО // Матер. отчетн. конф. Томского межвузовского центра дистанционного образования / Под ред. А.Ф. **Уварова. Томск:** Изд-во ТМЦДО. 2007.

4. **Ветринский Ю.А., Никитин А.Б., Сороцкий В.А., Цикин И.А.** Программные средства поддержки учебного процесса в информационно-образовательной среде университета // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2008. № 3 **(60). Информатика. Телекоммуникации. Управление.**

УДК 004. 94

Ю. А. Голландцев, В.А. Дубенецкий

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КЛАССА ERP ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ВУЗЕ

Информационные системы планирования и управления предприятием ERP (Enterprise Resource Planning) объединяют подсистемы, обеспечивающие управленческую и экономическую деятельность предприятия, в частности управление материальными и финансовыми потоками, учет затрат, ведение бухгалтерского учета. Основу ERP-систем составляет система MRP-II (Manufacturing Requirement Planning), управляющая ресурсами производства и видами поставок (комплектующие изделия, исходные материалы и т. д.). Внедрение информационной поддержки управления ресурсами в организациях, связанных с производством наукоёмкой продукции, занимает одно из приоритетных направлений, обеспечивающее существенное улучшение производственных и экономических показателей.

Информационная поддержка процессов управления ресурсами образовательных программ в высших учебных заведениях реализуется в виде отдельных информационных систем, не связанных между собой. Существующее отставание в организации процессов управления ресурсами вузов отрицательно сказывается на качестве подготовки специалистов, особенно специалистов в области наукоёмких отраслей промышленности. Образовательные программы кадрового обеспечения в вузах слабо формализованы, их подготовка и ведение трудоёмки, планирование учебного процесса в части обеспечения ресурсами затруднено, сопоставление различных программ и отдельных их элементов практически невозможно.

В статье рассматриваются возможности и особенности использования ERP-систем для решения задач управления ресурсами образовательных программ в вузах. При этом предполагается, что информационные технологии, подтвердившие свою эффективность в промышленности, могут послужить основой создания информационных технологий в слабо формализованных средах, к которым можно отнести и образовательный процесс в вузе.

Информационная модель жизненного цикла изделий (ЖЦИ) предоставляет базу для создания интегрированной информационной среды в области подготовки специалистов по проектированию наукоёмкой продукции и построения на её основе структурно-логических схем образовательных программ [4]. Информационная модель образовательной программы позволяет формировать, сопровождать и оценивать разнообразные структурно-логические схемы образо-

вательных программ на основе их формального представления в едином информационном пространстве [5]. В состав единого информационного пространства входят модели предметных областей и модель ЖЦИ, которые позволяют обеспечить расчет необходимых ресурсов для реализации образовательных программ, планировать и контролировать учебный процесс с учетом имеющихся ресурсов.

Все области применения информационных технологий в вузе характеризуются многообразием объектов и их свойств. Структуры и свойства информационных объектов, а также их состав и взаимосвязи подвержены постоянным изменениям. Для преодоления этих проблем предлагается своеобразная архитектура корпоративной информационной системы для вузов. Основана она на моделировании абстрактных моделей и позволяет динамически реагировать на разнообразные изменения [6].

Разработки в сфере управления ЖЦИ изменили представления о процессах и объектах промышленной деятельности. Высокий уровень стандартизации, унификации и типизации позволяет говорить о формальных моделях управления ЖЦИ. Развитие теории и практики управления производством привело к расширению границ её применения до области операционного управления. В основе теории операционного управления лежит концептуальное представление о ресурсной поддержке операций (деятельности). Три основных класса объектов – *ресурс*, *процесс*, *продукция* являются фундаментом ресурсной модели деятельности. Теория управления производством получила практическое воплощение в корпоративных информационных системах (КИС), обеспечивающих информационную поддержку деятельности на всех этапах жизненного цикла продукции. Традиционно информационная поддержка управления ресурсами возлагается на системы класса ERP (системы управления ресурсами предприятия), которые предоставляют широкий спектр возможностей, основанных на моделях управления ресурсами.

Структура модели ЖЦИ в промышленности

При разработке информационной модели ЖЦИ в промышленности за основу принят документ "Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции". Стадии жизненного цикла продукции – это совокупность этапов, через которые проходит изделие за время своего существования, а именно маркетинговые исследования, составление технического задания, проектирование, технологическая подготовка производства, изготовление, поставка, эксплуатация, ремонт, утилизация [1].

Совокупность информационных объектов, описывающих модели ЖЦИ, сгруппируем по функциональному признаку: изделие; функционирование и взаимодействие предприятий; маркетинг; подготовка производства; планирование производства; производство изделия и его компонентов; постпроизводственные стадии ЖЦИ. В группу *Изделие* включаются основные информационные объекты, описывающие спецификацию изделий.

Общее количество объектов, используемых для описания ЖЦИ, составляет несколько тысяч. В соответствии с сущностью объектов ЖЦИ условно первый уровень классификации можно представить в следующем виде:

· *Производственный элемент* позволяет вести справочники предметов и средств труда.

· *Процесс* позволяет специфицировать процессы ЖЦИ.

· *Экземпляр производственного элемента* помогает определить конкретные экземпляры производственных элементов как в процессе производства, так и на постпроизводственных стадиях ЖЦИ.

· *Хозяйственная операция* разрешает описывать базовые операции с экземплярами производственных элементов.

· *Накопитель* позволяет управлять остатками и запасами.

· *Субъект хозяйственной деятельности* дает возможность специфицировать все организационные звенья, участвующие в ЖЦИ.

· *Событие* позволяет специфицировать логику процессов ЖЦИ.

· *Экономический элемент* помогает определить экономику ЖЦИ.

· *Документ* предоставляет возможность вести документы, сопровождающие ЖЦИ.

· *Заявка* позволяет специфицировать взаимоотношения субъектов хозяйственной деятельности.

· *План* позволяет специфицировать планируемые результаты по управлению ЖЦИ.

Рассмотрим особенности некоторых информационных объектов. Наиболее важный объект – *Производственный элемент*. Введенное обобщение обеспечивает определенную однородность при составлении спецификации изделий, позволяя в спецификации ссылаться на разнородные требуемые ресурсы и объединяя операционную спецификацию и спецификацию состава. Информационный объект *Производственный элемент* с точки зрения производства соответствует структуре классов, сведенной в таблицу.

Структура классов

<table>
<tr><td rowspan="8">Производственный элемент</td><td rowspan="4">Изделие</td><td rowspan="3">Продукция</td><td rowspan="2">Сборочный узел</td><td>Сборочная единица</td></tr>
<tr><td>Деталь</td></tr>
<tr><td>Комплект</td><td></td></tr>
<tr><td>Комплекс</td><td></td></tr>
<tr><td>Материальные ресурсы</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Средства труда</td><td>Технологическое оборудование</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Инструмент</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Оснастка</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Технологическая операция</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Базовое представление об изделии (в соответствии с 3.2.26 ГОСТ Р ИСО 10303-1) можно описать в виде схемы классификации, в которой выделены основные информационные объекты и их наиболее важные взаимосвязи. Основной сущностью является *Изделие*. В качестве основы для классификации изделий могут быть приняты различные основания (аспекты рассмотрения). Стандарт определяет *Изделие* достаточно широко. Соответственно к каждому из подклассов изделий применим подход моделирования, основанный на понятии жизненного цикла. Таким образом, высокий уровень абстрагирования понятия *Изделие* позволяет применять данный подход к широкому спектру объектов в различных областях деятельности, в том числе к объектам учебного процесса. Важнейший компонент ресурсной модели управления – это модель спецификации *Изделия*, описывающая нормативы требуемых ресурсов и технологию изготовления.

Основой эффективного управления ЖЦИ является применение информационных технологий поддержки. В свою очередь, применение информационных технологий поддержки ЖЦИ приводит к необходимости создания интегрированной информационной среды. Упрощенная модель для описания структуры изделия представлена на рис. 1 [6].

Конструкторско-технологическую спецификацию (КТС) изделия позволяют описать: ассоциативная сущность – *Строка КТС*, агрегативная связь – *Для изделия* и ассоциация – *Входящее изделие*.

Для описания модификаций изделия введена ассоциация – *База для модификации* и атрибут – *Флаг общей части*.

Строки спецификации изделия описывают соответствующие типизированные подклассы спецификации изделия:

конструкторская спецификация (КС) изделия – *Строка КС*;

нормы расхода материалов – *Строка материального ресурса*;

технологические операции (ТО) изготовления изделия – *Строка ТО*;

нормы расхода оснастки и инструмента – *Строка средств труда*.

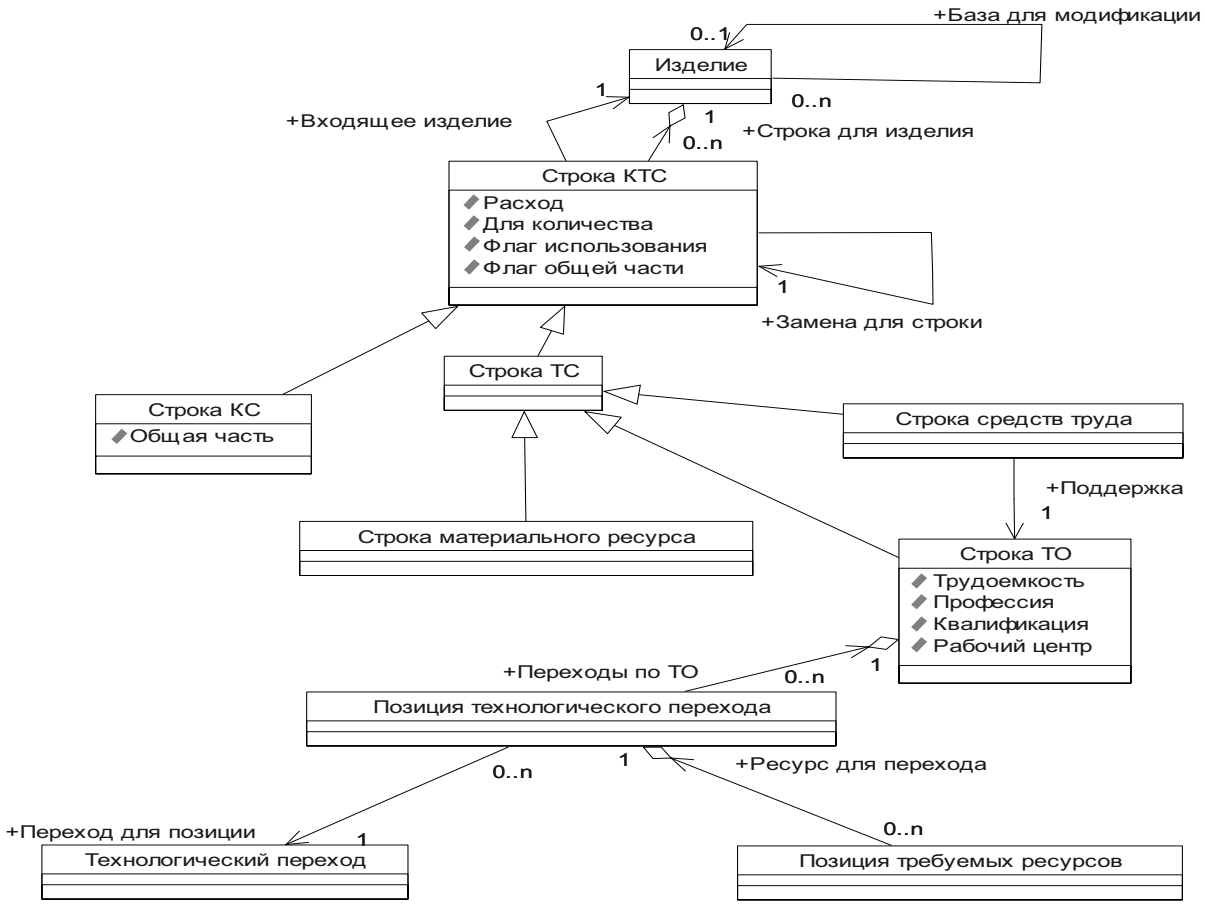


Рис. 1. Модель для спецификации изделий

Каждая технологическая операция в спецификации может быть детализирована путем спецификации технологических переходов (ассоциативная сущность – *Позиция технологического перехода* и агрегативная связь – *Переходы по ТО*).

Информационная модель, представленная на рис. 1, описывает нормативную базу потребности в ресурсах, являющуюся основой решения задач управления ресурсами в системах класса ERP. Классификация ресурсов, используемая в ресурсных моделях управления предприятиями, достаточна и для решения задач управления учебным процессом.

Информационная модель для составления спецификации свойств изделия в сильной степени зависит от класса изделий и аспектов рассмотрения. Моделирование свойств в рамках атрибутов класса делает информационную модель чувствительной (хрупкой) по отношению к изменениям, связанным с введением новых классов изделий и новых аспектов рассмотрения. Для обеспечения необходимой гибкости модели свойства изделия предлагается выделить в самостоятельный класс, в котором используются следующие понятия:

сущность *Изделие* обеспечивает ведение справочника изделий;

сущность *Группа изделий* и ассоциация *Родительская группа* позволяют строить разнообразные иерархические схемы группирования изделий, ассоциативная сущность *Группа для изделия* позволяет задать принадлежность конкретного изделия к соответствующим группам;

сущность *Свойство* обеспечивает ведение справочника свойств;

сущность *Информационный объект* и ассоциация *Тип свойства* дают возможность типизации свойств;

ассоциативная сущность *Свойство группы изделий* позволяет описать состав свойств конкретной группы изделий;

сущность *Вариант множественности* и соответствующая ассоциация дают возможность задать необходимый вариант множественности для свойства группы изделий.

Для ведения значений свойств конкретных изделий, список которых определяется принадлежностью к конкретной группе, вводится ассоциативная сущность *Свойство изделия*.

Управление конфигурацией подразумевает процесс, включающий в себя идентификацию, проверку и изменение конфигурации, а также подготовку отчетности об этих действиях. Для решения задач управления конфигурацией модель должна обеспечивать представление большого количества допустимых вариантов исполнения для конкретного изделия.

Часть свойств изделия определяется как *Параметры конфигурации*. Каждый набор допустимых значений параметров конфигурации задает условия для формирования структуры изделия, соответствующей заданному варианту исполнения. Каждая строка из *Состава изделия* может иметь ссылку на логическую *Функцию конфигурации,* которая определена на значениях *Параметров конфигурации*. Каждый *Параметр функции* задан как соответствующий *Параметр конфигурации*. Таким образом, активность каждой строки спецификации на всю глубину детализации определяется соответствующими функциями конфигурации, заданными на множестве значений параметров конфигурации.

Структура модели ЖЦИ в учебном процессе

Если *Образовательную программу* в вузе трактовать как специальный класс *Изделия*, то появляется возможность использовать подходы, решения и референтные модели ЖЦИ в промышленности к организации учебного процесса. При этом можно выделить следующие направления использования модели ЖЦИ с позиций организации информационной поддержки учебного процесса в вузе:

информационная поддержка ЖЦИ базируется на интегрированном информационном пространстве, несомненно, методы, технические решения по информационной поддержке ЖЦИ могут быть с успехом применены при решении задач информационной поддержки жизненного цикла образовательных программ:

при разработке структуры образовательных программ и соответствующих дисциплин модель ЖЦИ дает хорошую основу для построения структурно-логических схем дисциплин по подготовке специалистов в области проектирования наукоёмкой продукции.

Рассмотрим основные информационные объекты ERP-систем с точки зрения возможности их применения в области управления ресурсами образовательных программ.

При составлении информационной модели *Образовательной программы* как подкласса изделий необходимо определить спецификацию информационного объекта *Образовательная программа* в соответствии с ресурсной моделью информационного объекта *Изделие*, применяемой в ERP-системах. Управление ресурсами основывается на нормировании требуемых ресурсов для получения продукции и спецификации имеющихся в распоряжении ресурсов. Домен *Управление учебным процессом* можно разделить на основе представлений об этапах жизненного цикла объекта *Образовательная программа* (*ОП*) на следующие процессы:

подготовка образовательных программ;

планирование учебного процесса по образовательным программам;

оперативное управление учебным процессом.

Для решения задач управления ресурсами необходимо нормировать расход ресурсов. В ERP-системах нормирование требуемых ресурсов задается в спецификации *Изделия*. С целью использования моделей управления ресурсами представим *Образовательный объект* как совокупность объектов учебного процесса, являющихся подклассами сущности *Изделия* (образовательная программа (ОП), учебный план, группа дисциплин, модуль дисциплины, учебная операция, вид учебной работы, дисциплина, тема, производственная практика, междисциплинарный курсовой проект, выпускная работа).

Рассмотрим информационные модели основных классов образовательных объектов.

Основным компонентом образовательной программы является учебная дисциплина.

Формальная информационная модель учебной дисциплины должна обеспечить необходимые условия для создания единого информационного пространства в области стандартизации образовательных программ и нормирования ресурсов. Даная задача может решаться эволюционно путём постепенного агрегирования различных групп образовательных программ по направлениям подготовки специалистов. Основной документ, описывающий структуру и содержание учебной дисциплины, – *Рабочая программа дисциплины*. При построении информационной модели учебной дисциплины будем опираться на структуру этого документа. Ввиду сложности модели разделим ее на отдельные части (локальные подмодели). В качестве отдельных подмоделей выделим следующие группы: содержание учебной дисциплины; план-график распределения учебных часов; самостоятельная работа студентов и план контроля учебной работы.

Информационная модель *Содержание учебной дисциплины* представляет концептуальную модель, отражающую структуру описания содержания учебной дисциплины (рис. 2).

Основная сущность *Дисциплина* специфицируется путем задания различных ассоциаций с другими связанными сущностями. Сущность *Группа дисциплин* введена для возможности группирования дисциплин по различным признакам. Данная сущность обеспечивает формирование разнообразных иерархических структур объединения дисциплин по различным признакам на основе введения ассоциации *Родительская группа*. Для обеспечения возможности альтер-

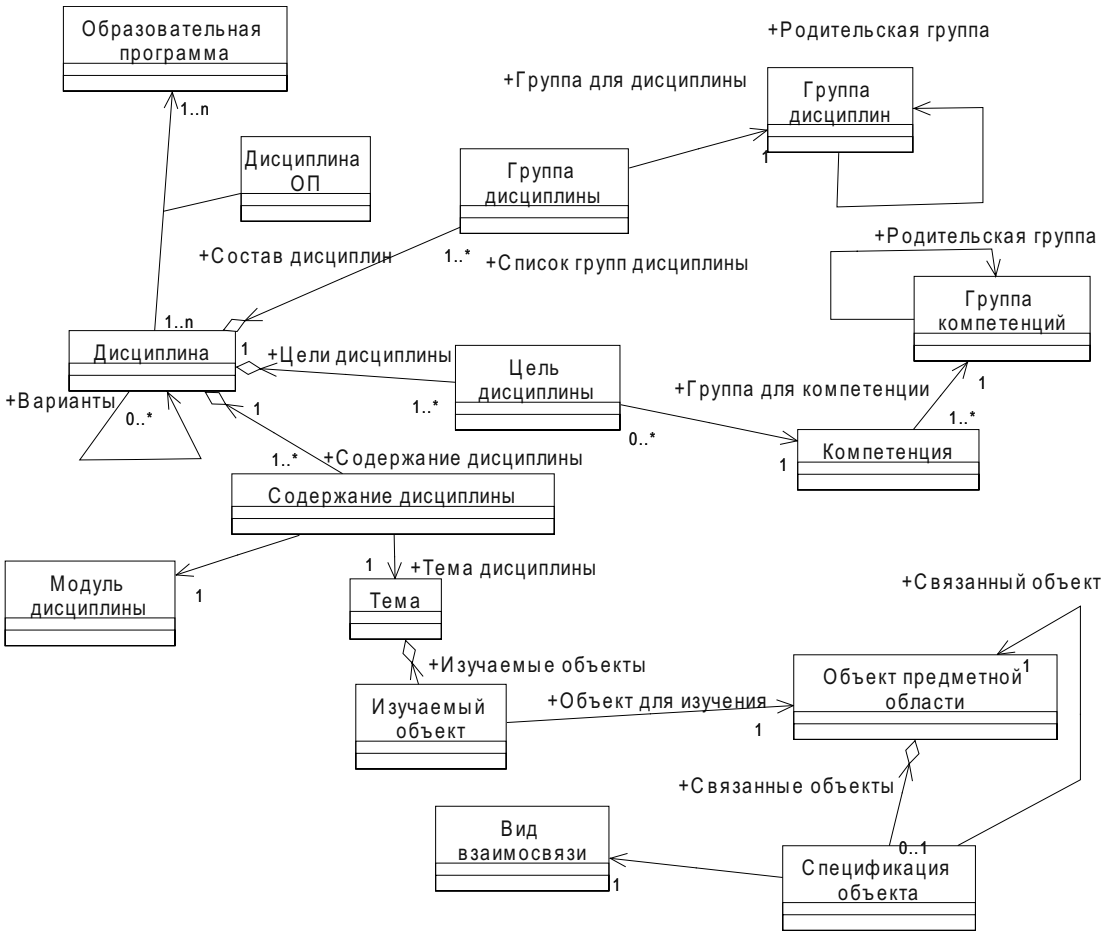


Рис. 2. Информационная модель *Дисциплины*

нативного группирования по различным признакам введена сущность *Группа дисциплины* с ассоциациями *Список групп дисциплины* и *Группа для дисциплины*.

Для спецификации целей дисциплины используется модель компетенций. Компетенция – это качество специалиста, завершившего образование определенной ступени, выражающееся в готовности (способности) на его основе к успешной (продуктивной, эффективной) деятельности с учетом её социальной значимости и социальных рисков, которые могут быть с ней связаны.

Для описания структуры компетенций вводятся следующие сущности и ассоциации:

сущность *Компетенция* поддерживает справочник компетенций в соответствии с образовательными стандартами;

сущность *Группа компетенций* позволяет группировать компетенции по выбранным признакам, например по видам деятельности;

ассоциация *Родительская группа* разрешает задавать иерархическую схему группирования компетенций;

ассоциативная сущность *Цель дисциплины* и ассоциация *Цели дисциплины* позволяют описать цели изучения дисциплины в виде списка компетенций, разделённых на соответствующие группы.

Содержание учебной дисциплины описывается как сложная взаимосвязь *Тем* и *Объектов предметной области*. Для формализации спецификации содержания учебной дисциплины вводятся следующие сущности и ассоциации:

сущность *Тема* – поименованная логически законченная часть учебного материала – единица распределения выделенных для изучения дисциплины учебных часов. *Тема* определена в едином информационном пространстве, поддерживающем образовательные программы;

сущность *Объект предметной области* описывает абстрактные или материальные сущности, процессы, явления, события реального мира; значительная часть объектов по предметным областям должна быть определена глобально в едином информационном пространстве; основой для формирования справочника объектов могут выступать стандарты, признанные теории, модели и др., совокупность информационных объектов для описания ЖЦИ может стать основой для описания структуры образовательных программ в области подготовки специалистов по проектированию наукоёмкой продукции;

ассоциативная сущность *Изучаемый объект,* ассоциации *Изучаемые объекты* и *Объект для изучения* позволяют представить содержание дисциплины в виде сложной онтологической модели;

сущности *Вид взаимосвязи*, *Спецификация объекта* и ассоциации *Связанные объекты* и *Связанный объект* позволяют моделировать сложные взаимосвязи между объектами и тем самым более полно представить модель предметной области; такая модель позволит проводить детальный анализ и сравнение дисциплин образовательных программ на их взаимозависимость, полноту и корректность логического построения.

Информационная модель *План-график распределения учебных часов* (рис. 3) является частью *Рабочей программы* дисциплины и содержит информацию о графике распределения содержания дисциплины по *Учебным занятиям* и *Видам учебной работы*. Фрагмент модели, содержащий сущности *Дисциплина*, *Содержание дисциплины*, *Тема* уже рассматривался ранее. Для описания содержания план-графика введена ассоциативная сущность *Учебное занятие*. Каждое *Учебное занятие* определяется *Дисциплиной*, *Семестром*, *Номером учебной недели в семестре, Видом учебной работы* и указывает изучаемую тему (атрибут *Тема учебного занятия*). В качестве конкретных видов учебной работы обычно используются: лекция, лабораторная работа, практическое занятие, консультация, курсовое проектирование, семинар и др.

Для спецификации учебно-методических материалов (УММ), используемых при проведении учебного занятия, вводятся ассоциативная сущность *УММ для занятия*, сущность *Учебно-методический материал* и соответствующие ассоциации *Список УММ* и *УММ*.

Информационная модель *Самостоятельная работа студентов* есть важный раздел рабочей программы дисциплины, и регламентируется планом самостоятельной работы студента, содержащим данные, необходимые для организации контроля и учета самостоятельной работы студентов. По существу эти данные содержат результаты объёмного распределения общего количества часов самостоятельной работы по дисциплине по темам с указанием видов работ и отчетности.

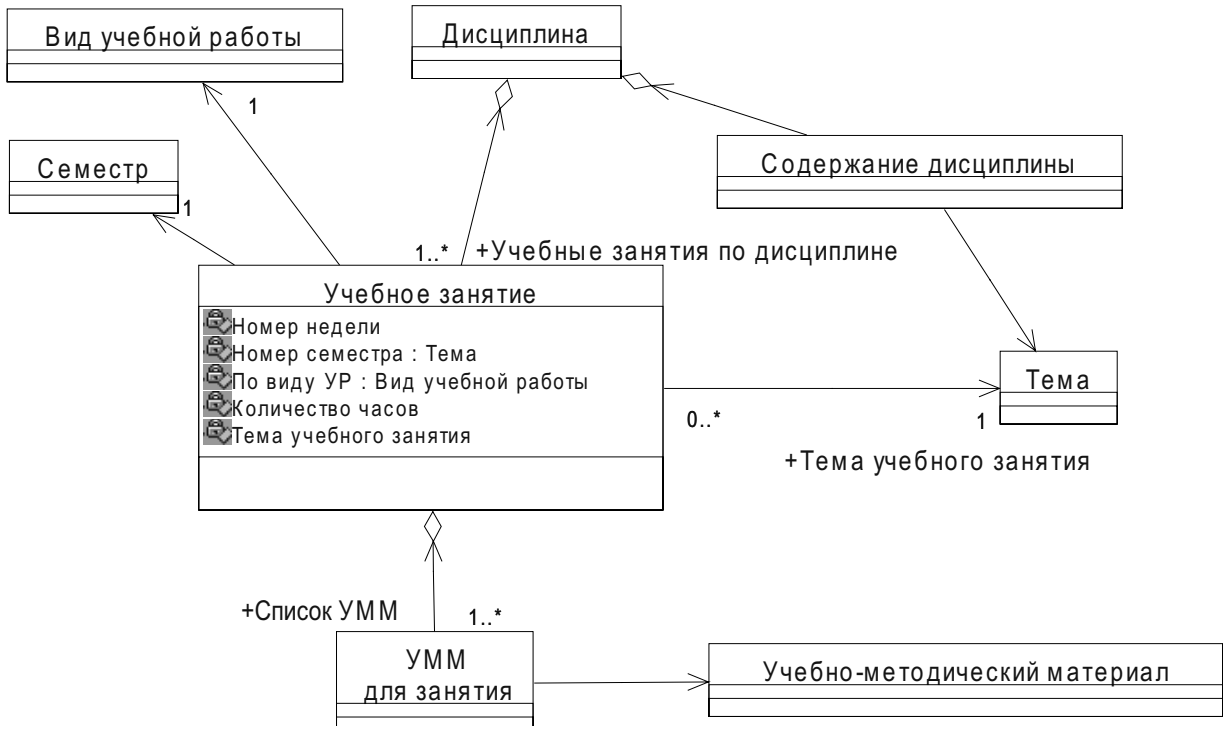


Рис. 3. Информационная модель *План-графика распределения учебных часов*

Фрагмент модели *Дисциплина*, *Содержание дисциплины*, *Тема* – базовый для планирования самостоятельной работы.

Сущность *Самостоятельная работа* позволяет зафиксировать перечень планируемых самостоятельных работ по дисциплине с указанием *Вида самостоятельной работы*, списка планируемых отчетов СР, списка изучаемых тем (сущность *Изучаемая тема*, ассоциации *Тема для изучения, Изучаемые темы*).

Информационная модель *План контроля учебной работы* представляет собой важный раздел рабочей программы дисциплины. Формируется план контроля учебной работы студентов, описывающий список точек контроля по видам учебной работы с указанием относительных сроков выдачи и сдачи заданий по точкам контроля с привязкой к темам рабочей программы дисциплины.

Ассоциативная сущность *Точка контроля* позволяет задать нормативные данные по предмету контроля, относительным срокам контроля (атрибуты *ВыдачаНомерНедели*, *СдачаНомерНедели*), правилам оценки знаний в точке контроля с привязкой к содержанию дисциплины (ассоциация *По теме*).

Ассоциативная сущность *Возможная оценка*, атрибут *По Правилу*, сущность *Правило оценки* и ассоциация *Возможные оценки* позволяют задать нормативы по оценке знаний в каждой точке контроля.

Информационная модель *Образовательной программы*, определяющая состав и структуру подготовки специалистов, регламентируется государственными образовательными стандартами (ГОС). В качестве составляющих компонентов ГОС содержит список образовательных программ по отдельным специальностям. Образовательная программа (ОП) выступает единицей планирования учебного процесса вуза и определяет состав и содержание подготовки специалистов по определенной специальности. По уровню стандартизации и унификации ОП можно разделить на две большие группы: базовые и специальные образовательные программы.

Базовые ОП определены государственным образовательным стандартом по направлениям [2]. Специальные образовательные программы разрабатываются и применяются для целей повышения квалификации или переподготовки кадров.

Для описания структуры ОС вводим следующие сущности и связи:

сущность *Направление подготовки* позволяет вести единый справочник направлений подготовки специальностей;

сущность *Область профессиональной деятельности* даёт возможность вести единый справочник областей профессиональной деятельности;

ассоциативная сущность *Область деятельности ОС* разрешает задать список областей профессиональной деятельности для конкретного образовательного стандарта;

сущность *Объект профессиональной деятельности* помогает вести единый справочник объектов профессиональной деятельности;

ассоциативная сущность *Объект профессиональной деятельности ОС* позволяет задать список объектов профессиональной деятельности для конкретного ОС;

сущность *Вид профессиональной деятельности* предоставляет возможность вести единый справочник видов профессиональной деятельности;

ассоциативная сущность *Вид профессиональной деятельности по ОС* позволяет задать список видов профессиональной деятельности по образовательному стандарту;

сущность *Компетенция* даёт возможность вести единый справочник компетенций;

ассоциативная сущность *Компетенции для ОС* позволяет задать список компетенций для конкретного образовательного стандарта, котрый реализуется путем разработки учебных планов.

Информационная модель *Учебного плана*, приведенная на рис. 4, содержит следующие сущности и ассоциации:

сущность *Учебный план* позволяет вести справочник учебных планов для ОС с учетом их версий (ассоциация *Варианты УП*);

содержание учебного плана раскрывается через ассоциативную сущность *Позиция учебного плана* и ассоциацию *Состав УП*;

ассоциации *Ответственная кафедра, входящий ОО, Оргзвено* позволяют указать необходимые свойства каждой позиции учебного плана.

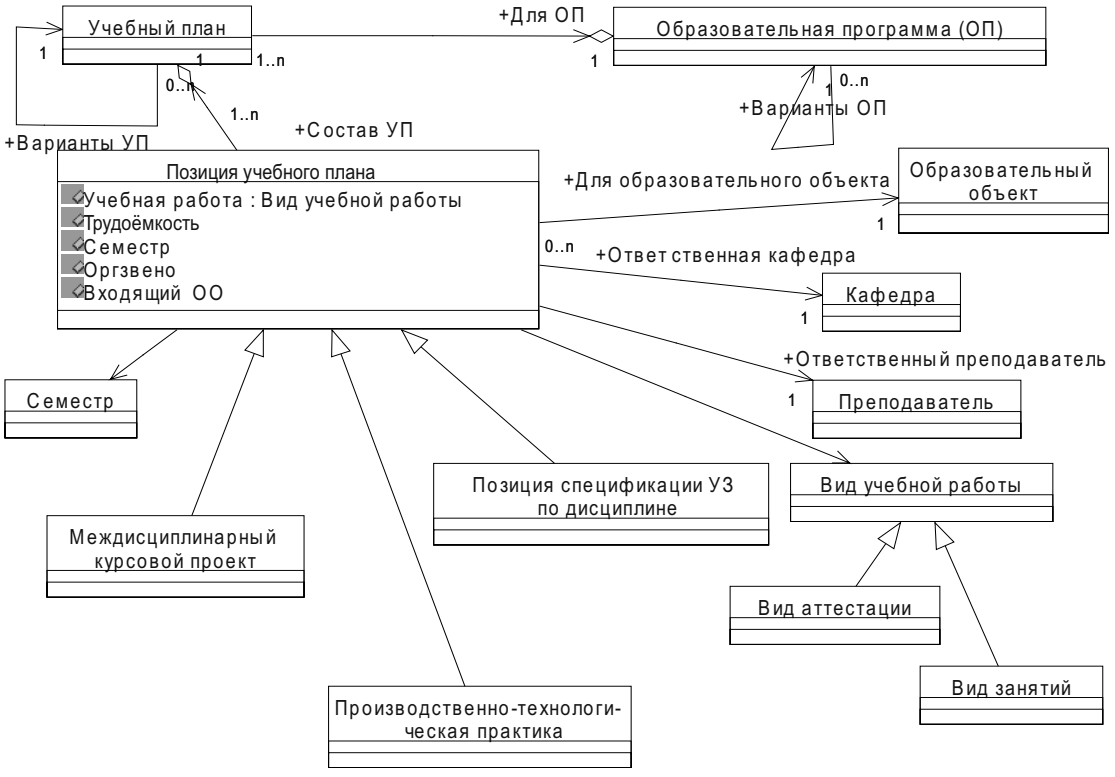


Рис. 4. Информационная модель *Учебного плана*

Для задания распределения учебных часов по видам учебной работы и видам аттестации вводятся следующие сущности и ассоциации:

сущность *Вид аттестации* позволяет вести единый справочник видов аттестации;

сущность *Вид учебной работы* даёт возможность вести единый справочник видов учебной работы;

ассоциативная сущность *Семестр* помогает задать распределение учебных часов по каждой позиции учебного плана по видам учебной работы и по семестрам;

ассоциативная сущность *Промежуточная аттестация* позволяет задать распределение учебных часов по *Видам аттестации;*

сущность *Вид занятий* является обобщающим классом для классов *Вид аттестации* и *Вид учебной работы*.

Спецификация образовательной программы как технологического процесса при наличии зависимости технологических операций по причинно-следственным связям и структуре производственного календаря (семестры, учебные недели, общее количество временного ресурса в учебной неделе) позволяет рассчитать варианты учебных планов каждой образовательной программы.

Процесс *Ведение расписание* достаточно трудоёмок. Первым шагом к его автоматизации становится разработка информационной модели, формально описывающей такой объект, как *Расписание*.

Основная сущность *Расписание* обеспечивает подготовку, проверку расписания, ведение изменений и дополнений расписания. Атрибуты *Действует с*, *Действует по* и *Дата заполнения* обеспечивают возможность работы над расписанием как до его ввода в действие, так и после его ввода (механизм изменений). Сущность *Точка расписания* и атрибут *Время проведения* позволяют строить расписание в относительных временных интервалах. Атрибуты *Место проведения*, *По дисциплине*, *По виду занятий*, *Для учебной группы* задают конкретные характеристики позиции расписания.

Для получения расписания в разрезе преподавателей вводится сущность *Преподаватель по видам занятий*. Эта сущность также имеет атрибуты *Дата заполнения, Действует с* и *Действует по*, обеспечивающие ведение изменений. Атрибуты *Преподаватель по видам занятий, По виду занятий, Для учебной группы* обеспечивают возможность распределения временного ресурса преподавателей по дисциплинам, видам занятий и учебным группам. Сущность *Преподаватель по видам занятий* дает возможность корректно найти расписание для преподавателей на основе построенного расписания для учебных групп.

Учёт результатов текущего контроля и промежуточной аттестации – важная составная часть деятельности вуза. Для информационной поддержки данного процесса вводим следующие сущности.

Сущность *Операция со слушателем* позволяет вести учёт различных учебно-производственных операций со слушателем. В качестве подкласса выделена операция *Контроль знаний*, в которой регистрируются результаты аттестации. Операция *Контроль знаний* привязана к позиции *Промежуточная аттестация* из соответствующего *Учебного плана*. Сущность *Текущий контроль* также является подклассом *Операции со слушателем*. Данный класс операций позволяет учитывать результаты текущего контроля, проводимого в соответствии с графиком текущего контроля (связь с сущностью *Точка контроля* из спецификации *Дисциплины*).

Сущность *Отчётный документ слушателя* позволяет учитывать различные группы документов, подготавливаемых и предоставляемых слушателями при проведении как аттестации, так и текущего контроля. Ассоциативная сущность *Документ для контроля* позволяет связать *Отчётный документ слушателя* с конкретной *Операцией со слушателем*.

Представленные выше информационные объекты в части спецификации состава и требуемых ресурсов обладают необходимой общностью, позволяющей построить обобщенную модель для спецификации образовательных объектов по аналогии с моделью *Изделия*, используемой в системах класса ERP. Информационная обобщенная модель образовательных объектов приведена на рис. 5. Ассоциативная сущность *Строка спецификации ОО* позволяет описать структуру и требуемые ресурсы *Образовательного объекта*. Особенностью данной

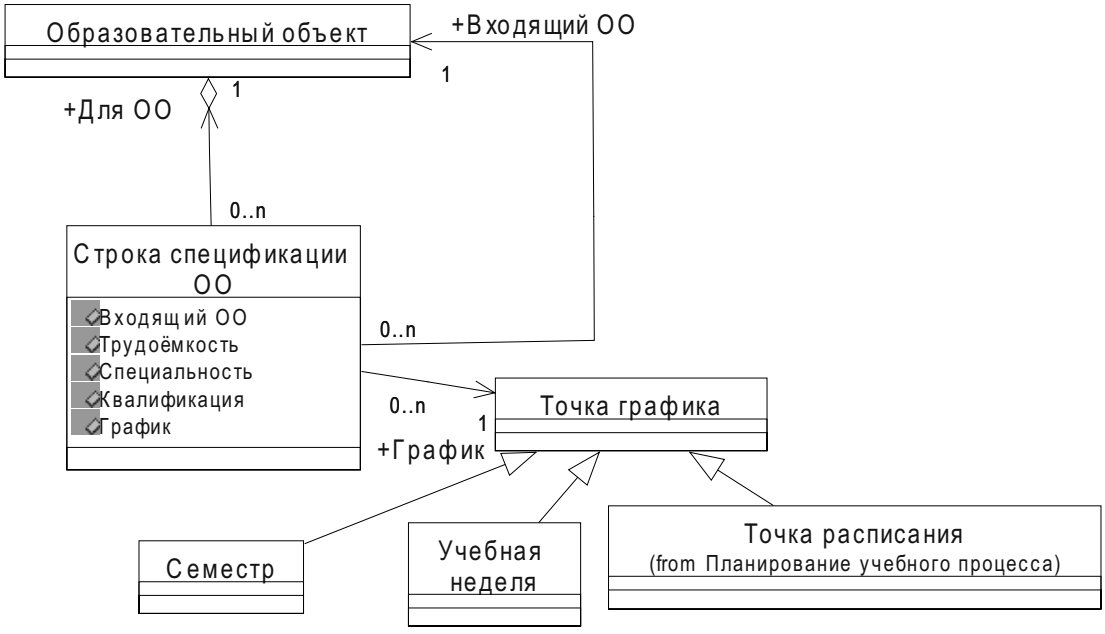


Рис. 5. Обобщенная модель для спецификации любого класса *Образовательных объектов*

сущности – введение атрибута *График: Точка графика*, позволяющая задать ограничения на относительное время реализации соответствующих учебных работ.

Каждый подкласс *Строки спецификации ОО* может содержать свой набор дополнительных атрибутов. Однако требуемые ресурсы могут быть специфицированы в рамках представленной модели.

Инструментальные средства ERP-систем, как правило, позволяют расширять объектную модель применительно к конкретным особенностям предметной области. Важно сохранить преемственность операционной ресурсной модели. По нашему мнению, материалы данной статьи убедительно показывают возможность эффективно использовать модели и инструменты ERP-систем для решения задач управления учебным процессом. Спецификация нормативных данных – главный шаг к решению задач планирования распределения ресурсов.

Широкая трактовка понятия *Изделие* позволяет применять идеи и удачные решения в области моделирования ЖЦИ в различных областях деятельности, в том числе в управлении образовательными программами.

Концепция ЖЦИ позволяет комплексно и системно решать задачи управления учебным процессом на всех этапах жизненного цикла образовательных программ.

Создание интегрированной информационной среды обеспечивает единое информационное пространство всем участникам управления учебным процессом.

Технология объектно-ориентированного моделирования позволяет построить формальную модель для решения задач управления учебным процессом и использовать её как основу создания интегрированной информационной среды.

Информационная модель образовательной программы может стать основой для построения структурно-логических схем и отдельных дисциплин, и различных образовательных программ в области подготовки специалистов по проектированию наукоёмкой продукции.

Существующие инструменты и модели ERP-систем, подтвердившие свою эффективность в производственных условиях, могут быть эффективно использованы для решения задач управления учебным процессом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Ч. 1. Стадии жизненного цикла продукции: Р 50.1.031-2001: http://sklad-zakonov.narod.ru/gost/Rek_stand.htm

2. Министерство образования Российской Федерации. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление 552800. Информатика и вычислительная техника. М., 2000.

3. **Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В.** Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 304 с.

4. **Моисеев В.Б., Горбач С.П., Мошечков В.В.** Структурно-логические схемы специальностей как основа сетевой модели открытого образования: http://www.e-joe.ru/sod/00/5_00/mo1.html

5. **Куприков М.Ю.** Кадровое обеспечение в области автоматизации жизненного цикла изделий: http://nit.miem.edu.ru/2007/sb/pl/7.htm

6. **Булех Н.Л., Дубенецкий В.А., Золотов А.В., Филиппов С.Ж.** Информационная система управления производством "БАЗИС-РЕСУРС" (стандарт MRP-II) // Информационные технологии в машиностроении и судостроении: 7-я Всерос. науч.-практ. конф. / ЦНИИ РТК. СПб. 2006. С. 19–23.

УДК: 378.14

А.Н. Амбражей, Д.Г. Арсеньев, Н.М. Головин, В.П. Шкодырев, В.В. Таратухин

РАЗВИТИЕ АКАДЕМИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ КОМПЕТЕНЦИИ SAP КАК РЕСУРСНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ (НА ПРИМЕРЕ СПБГПУ)

Спрос на квалифицированных специалистов в области ERP-систем в России растет и существенно превышает предложение. Одновременно, особенно в связи с кризисом, многие предприятия стали уделять повышенное внимание оптимизации внутренних бизнес-процессов, снижению издержек за счет более качественного учета и их анализа. Автоматизация бизнес-процессов и бизнес-аналитики во многом перестает быть только задачей IT-департамента. Применение средств автоматизированного учета, электронного документооборота и различных аналитических инструментов становится повседневной работой для рядовых сотрудников.

Использование корпоративных информационных систем, систем управления технологическими процессами и финансово-хозяйственной деятельностью позволило современным предприятиям накопить огромный объём данных, связанных с их хозяйственной деятельностью, характеристиками рынка, поведением покупателей и т. д. Своевременная обработка и правильная интерпретация данной информации является одним из ключевых вопросов и напрямую связана с выживанием компании в информационном обществе. Причем доступ к информации требуется не только менеджерам верхнего уровня для принятия долгосрочных стратегических решений, но и все большему числу управленцев среднего звена, инженерному и техническому персоналу. Поэтому возникла необходимость в использовании IT-решений, помогающих оперативно проводить анализ деятельности предприятия на всех его уровнях и по всем процессам, прогнозировать и оценивать ключевые показатели как всего предприятия, так и его отдельных подразделений.

Сегодня решения для бизнес-аналитики становятся такими же востребованными, как ERP-системы или системы управления взаимодействия с клиентами (CRM-системы). Параллельно с ростом использования аналитических решений всё более необходимыми становятся знания по практическим навыкам работы с аналитическими системами и их связи с корпоративными информационными системами.

Традиционно знания по корпоративным информационным системам включались в программу подготовки IT-специалистов, для непрофильных специальностей в основном изучались узкоспециализированные программы, характерные для данной специализации. В полной мере это относится и к подготовке бизнес-аналитиков, в лучшем случае на экономических специальностях учат на примере обработки данных в MS Excel или SPSS. Связь между источниками данных, поставляемых учетными системами, и принятием управленческих решений по результатам их анализа остается нераскрытой.

При таком подходе выпускники IT-специальностей знают, как устроены различные бизнес-решения с точки зрения программного обеспечения, общей архитектуры баз данных, требований к компьютерному оборудованию и т. д., но не понимают их роли в бизнес-процессах компании. Аналогично т. е., кто не является IT-специалистами, обладая инженерными или экономическими знаниями, владея специализированными пакетами, недостаточно осознают важность интеграции их деятельности с глобальными бизнес-процессами.

В этом аспекте вузам нужно скорее ориентироваться не на изучение отдельных ERP-систем как программного продукта, а на использование его в качестве иллюстративного материала и основы для практических занятий. Подход, когда студенты используют программные продукты как инструмент для задач с ориентацией на результат, а не на процесс использования того или иного пакета, позволяет достичь большего уровня вовлеченности и, как следствие, более высоких результатов.

Очень важно, чтобы студентам при решении учебных задач была предоставлена возможность работы с реальными системами, имеющимися на современных предприятиях. Достичь этого можно, используя для учебных целей крупные ERP-системы, такие как SAP ERP. Обычно системы такого уровня содержат весь спектр решения по автоматизации, что позволяет строить учебный процесс в единой информационной среде.

В процессе построения программ обучения на базе наиболее совершенных информационных систем учебные заведения неизбежно должны столкнуться с рядом проблем (высокая стоимость лицензий, компетентность преподавателей, учебные курсы по всему спектру решений, необходимость довольно затратного обслуживания системы). Эти проблемы, а также сложность систем, их высокая стоимость и отсутствие квалифицированных кадров делают задачу покупки и технического обслуживания ERP-систем такого уровня для большинства университетов весьма проблематичной.

Преподавание ERP-систем также требует хороших практических навыков и слабо доступно для самостоятельного освоения. Имеющиеся в России курсы профессиональной подготовки ориентированы на конечного пользователя и формирование практических навыков работы, часто без понимания места того или иного модуля системы в структуре управления. Структуры, готовящие преподавателей по ERP-системам, практически отсутствуют.

Наряду с этим в зарубежных учебных заведениях накоплен достаточный опыт преподавания дисциплин, связанных с корпоративными информационными системами, методиками взаимодействия с промышленными предприятиями и организации НИР, который можно использовать в отечественных учебных заведениях. Применение западных наработок при всей их привлекательности требует больших усилий по адаптации в силу различий в законодательной базе и деловой практике.

Чтобы преодолеть сложности на пути вузов к внедрению ERP-систем мирового уровня в программы стандартного обучения в СПбГПУ совместно с крупнейшим вендором IT-решений для бизнеса компанией SAP создан Академический центр компетенции SAP – центральный координирующий и ресурсный центр по изучению решений SAP.

Выбор в качестве основы SAP ERP не случаен. Бизнес-решения компании используются большим количеством крупных промышленных предприятий мира. В России программные продукты SAP наиболее востребованы в нефтегазовой и энергетической отраслях, в машиностроении. Есть положительный опыт использования отраслевых решений, которых насчитывается более двадцати, в розничной торговле и банковской сфере. Решения SAP стали фактическим стандартом корпоративных информационных систем для крупных предприятий, занимая примерно 33,7 % мирового рынка и около 50 % рынка ERP-систем в СНГ.

Использование основных IT-решений компании SAP в процессе обучения

Решения, предоставляемые SAP, комплексные, с высокой степенью интеграции, что позволяет использовать данную систему для подготовки курсов, отвечающих потребностям многих специальностей. Особого внимания заслуживает возможность наглядно продемонстрировать с использованием ERP SAP взаимосвязь различных модулей в рамках глобальных бизнес-процессов компании.

Перечислим основные решения SAP:

• "Управление современным предприятием" (SAP Business Suite), которое поддерживает весь функционал ERP-системы, включая:

управление финансами – автоматизация процессов бухгалтерского и управленческого учета и оптимизация управления финансовыми потоками, поддержка нескольких систем отчетности;

управление человеческим капиталом – комплексное решение, поддерживающее все этапы "жизненного цикла" сотрудника – от привлечения до персонального развития и удержания его в компании. Выполнение функций планирования и аналитики, оперативного управления персоналом, формирования и развития кадрового потенциала, управления сотрудничеством и коммуникациями, самообслуживания;

управление оперативной деятельностью – набор функций, охватывающий все ключевые логистические процессы предприятия (закупки, управление складами, логистика, планирование потребностей в материалах, выполнение производства и т. д.);

управление сервисными службами предприятия (управление недвижимым имуществом, процессами командировок, охраной здоровья и защитой окружающей среды, работой с опасными веществами, техническим обслуживанием и ремонтом оборудования).

• PLM-решения – поддержка жизненного цикла продукта.

• Управление проектами и совместной работой проектных команд

• Аналитика – инструментарий для анализа, прогнозирования и формирования отчетности с помощью компонентов "стратегическое управление предприятием", "аналитика по оперативной деятельности", "аналитика по персоналу" и "финансовая аналитика".

• Информационные сервисы – решение предоставляет руководителям и сотрудникам эффективные и удобные информационные сервисы – инновационные инструментальные средства, функционирующие по принципу "самообслуживания" и базирующиеся на концепции бизнес-ролей.

• "Управление взаимоотношениями с клиентами" (SAP Customer Relationship Management, SAP CRM).

• "Управление ресурсами предприятия" (SAP Enterprise Resource Planning , SAP ERP).

• "Управление жизненным циклом продукта" (SAP Product Lifecycle Management, SAP PLM).

• "Управление логистической сетью" (SAP Supply Chain Management, SAP SCM).

• "Управление взаимоотношениями с поставщиками" (SAP Supplier Relationship Management, SAP SRM).

• Пакет бизнес-аналитики и средств формирования отчетности SAP BusinessObjects.

Решение "Управление современным предприятием" (SAP Business Suite) можно использовать как базовое для модулей, связанных с управлением финансами, бухгалтерским учетом, особенно при изучении международной отчетности. Средства построения управленческого учета в SAP ERP одни из самых развитых и прекрасно подходят для соответствующих специальностей (финансовые специалисты, менеджмент, управление предприятием). Решение в целом может входить как основное или дополнительное в курс "Корпоративные информационные системы".

В центральный компонент ECC SAP ERP включена базовая логистика. Для создания продвинутых курсов по логистике можно использовать решение SAP SCM. Для студентов инженерных специальностей можно порекомендовать изучение PLM-решений и модуль TOPO (техническое обслуживание и ремонт оборудования). Особое внимание хочется обратить на входящие в состав PLM модули управления данными по охране здоровья и защите окружающей среды, использование которых может поднять на новый уровень преподавание этих дисциплин.

"Управление человеческим капиталом", наверное, наиболее востребованный модуль SAP ERP, он содержит полный набор мероприятий, связанных с персоналом. Это решение можно рекомендовать как базовое.

Пакет SAP BusinessObjects предоставляет единую BI-платформу для гетерогенной информационной среды, обеспечивающую создание надежной и полной картины о всех показателях компании. Простой в использовании интерфейс для аналитиков и бизнес-пользователей позволяет оперативно принимать решения на основе надежной и актуальной информации. Различные варианты масштабирования BI-решения дают возможность обеспечить доступ всем пользователям в организации к BI-приложениям. С помощью данного пакета можно анализировать данные из разных источников в режиме реального времени, сочетая их с мощными средствами визуализации и прогнозирования.

Использование единого пакета SAP BusinessObjects позволяет реализовать потребности разных подразделений компании с минимальным использованием технических ресурсов. Мощные средства визуализации, предоставление пользователям совершенных и интуитивно понятных инструментов для анализа результатов, создание интерактивной отчетности с возможностью проведения анализа "что-если" помогает принимать более обоснованные решения. Использование эффективных средств визуализации превращает исследование данных из рутинной задачи в деятельность, вдохновляющую на творческое мышление, что улучшает бизнес-понимание.

Повышению эффективности процесса формирования отчетности способствует использование легко масштабируемой, правильно структурированной и профессионально оформленной отчетности в рамках всей корпорации. Это минимизирует время на поиск и устранение несоответствий и ошибок, неизбежных при ручном вводе данных, а также ускоряет обработку сложных отчетов.

В состав решения, в частности, входят:

Crystal Reports для разработки интерактивных отчетов с возможностью интегрировать их с любым источником данных. Решение позволяет легко формировать любую отчетность, включая стандартные отчетные документы для контролирующих органов. Средства разработки визуальных форм позволяют точно воспроизводить любые печатные бланки;

WebIntelligence и Voyager – мощные инструменты аналитики, которые служат для построения нестандартных аналитических запросов без необходимости обращения к IT-службам, позволяют исследовать данные в OLAP-кубах и подключаться к различным источникам данных. Особенность продукта заключается в использовании специальных семантических слоев, которые позволяют пользователям обращаться при анализе к понятным им бизнес-терминам, минуя сложные процедуры их выборки из баз данных. Решения можно использовать при подготовке студентов по финансовым дисциплинам, маркетингу, в качестве практических примеров по анализу данных из ERP-систем, для изучения возможностей по подключению к другим учетным системам или базам данных.

Базой для принятия любого управленческого решения служит проверенная и достоверная информация. Однако во многих случаях данные неактуальны, подвержены изменениям задним числом или при миграции с одной системы на другую, хранятся децентрализованно и попадают в информационную сеть из различных источников.

Для решения проблемы обеспечения качества данных, проверки их целостности и корректности служит решение SAP BusinessObjects Data Services. Благодаря этому решению имеется возможность использовать единую визуальную среду разработки процессов интеграции и очистки данных, эффективно управлять разработкой и поддержкой процессов интеграции в многопользовательском режиме с использованием центрального репозитория, управлять процессами загрузки через интернет-браузер, использовать параллельную обработку информации.

Навыки работы с решением полезны в основном для IT-специальностей, также это может быть важным для маркетологов и бизнес-аналитиков как составная часть курсов.

Продукт SAP BusinessObjects Xcelsius Enterprise-инструмент, позволяющий методом "drag-and-drop" визуализировать данные. С его помощью пользователи могут получить доступ к безопасным индивидуальным информационным панелям из любой точки, воспользоваться информационными панелями, созданными на надежной и безопасной BI-платформе, преобразовывать различные отчеты из Crystal Reports и SAP BusinessObjects Web Intelligence в единую информационную панель, имеют возможность создавать информационные панели на основе анализа альтернатив.

Xcelsius можно вводить в учебный процесс как стандартное средство представления результатов анализа и для создания и демонстрации параметрических экономических моделей.

Для более совершенного и точного прогнозного анализа используется SAP BusinessObjects Predictive Workbench на основе SPSS Clementine. Являясь частью платформы SAP BusinessObjects XI, решение SAP BusinessObjects Predictive Workbench обладает следующими возможностями:

предоставляет мощные инструменты для прогнозной аналитики;

поддерживает весь процесс создания прогнозных моделей; поддерживает пользовательский drag-and-drop интерфейс для сокращения времени на разработку моделей;

предоставляет уникальные возможности поиска данных для любых аналитических задач;

основывается на признанной как производственный стандарт методологии CRISP-DM;

легко интегрируется с решениями SAP BusinessObjects и другими уже использующимися BI-инструментами.

Predictive Workbench совместно с BusinessObjects Data Services можно использовать в продвинутых кусах анализа бизнес-данных для исследования сложных статистических зависимостей.

В целом использование пакета BusinessObjects совместно с SAP Business Suite представляется удачным решением.

Сотрудничество компании SAP с вузами СНГ и России

С 1988 года компания SAP ведет проект "Университетский альянс SAP" по сотрудничеству с высшими учебными заведениями. В рамках данной инициативы существуют отлаженные механизмы взаимодействия компании и учебных заведений. В программе участвует более 700 университетов и учебных заведений из 36 стран мира. Каждый год более 150 000 студентов принимают участие в курсах по решениям SAP. С 2004 года программа развивается в России. Сегодня более тридцати вузов России и стран СНГ входят в Альянс.

До недавнего времени в России отсутствовала скоординированная система преподавания ERP SAP. Вузы разрабатывают свои курсы разной степени специализации, работают с различными версиями программного обеспечения. Отсутствие единого подхода к обучению, распыление сил на создание дублирующих курсов и плохое взаимодействие между преподавателями не позволяет достичь синергетического эффекта и в конечном счете повысить качество обучения студентов.

Сегодня роль главного методического, ресурсного и координирующего центра по развитию преподавания SAP-технологий в высшей школе призван играть Академический центр компетенции SAP в СПбГПУ (АЦК SAP).

СПбГПУ давно и успешно сотрудничает с компанией SAP, с 2006 года в нашем университете работает Межфакультетский научно-образовательный центр "Политехник-SAP". В его задачи входит специализированная подготовка студентов и проведение научных исследований внутри вуза. В ноябре 2008-го прошло торжественное открытие АЦК SAP, ознаменовавшее переход отношений с компанией на качественно новый уровень.

Основные задачи центра:

обеспечивать для вузов России возможность использовать современные ERP-системы в учебном процессе и НИР;

координировать деятельность вузов по преподаванию корпоративных информационных систем;

организовывать курсы повышения квалификации для преподавателей как СПбГПУ, так и других вузов России;

обучать студентов и преподавателей СПбГПУ решениям SAP, охватывающим все области управления современным предприятием – от стратегического и финансового менеджмента до управления производственными и технологическими процессами;

разрабатывать модульные учебные курсы и практические пособия для обучения студентов на магистерских программах;

создавать студенческие группы для выполнения НИР совместно с партнерами и клиентами компании SAP;

поддерживать международное сотрудничество с аналогичными центрами;

проводить для студентов СПбГПУ сертификационный курс с получением профессиональной квалификации SAP Solution Architect и координировать создание сертификационных центров по региону СНГ;

организовывать семинары по решениям SAP для студентов, преподавателей и представителей бизнеса.

выступать в качестве базовой структуры для решения организационных и юридических вопросов взаимодействия вуза и ресурсных центров.

Как наиболее оптимальный вариант для предоставления вузам России возможности использовать системы SAP в учебном процессе АЦК предполагает удаленный доступ посредством каналов Интернета.

Эта практика развита за рубежом, где созданы и активно действуют специализированные хостинг-центры решений SAP. Бизнес-приложения находятся и обслуживаются в едином ресурсном центре, конечные потребители получают возможность использовать их в целях обучения на основе концепции разделения потока данных или как эксклюзивные системы с возможностью разработки своих приложений. В результате эксплуатационные расходы вуза снижаются до стоимости обслуживания компьютерного класса и расходов на Интернет и оплаты услуг хостинг-центра. Количество рабочих мест для студентов вуза практически не ограничено.

Достигнуты договоренности с хостинг-центром в Магдебурге, который предоставляет доступ 252 учебным заведениям по Германии. АЦК выступает в качестве структуры для решения организационных и юридических вопросов взаимодействия вузов и ресурсных центров. За 2008–2009 годы в России по такой схеме начали работать 15 вузов. Еще около 20 университетов России и СНГ решают вопросы перехода на профессиональный хостинг SAP и учебно-методическую поддержку через АЦК.

Благодаря гибкому ценовому подходу и широкому спектру предоставляемых хостинг-центром решений учебные заведения могут выбрать необходимые им системы – от бюджетных вариантов учебных систем с готовыми данными до отдельных систем с правами на разработку или установленным отраслевым решением. На данный момент в составе продуктов центра имеются различные варианты стандартной системы SAP ERP, включая варианты с предустановленным набором данных учебной корпорации IDES, SAP Business Information Warehouse и Strategic Enterprise Management (IDES-версия), SCM- и CRM-решения, три отраслевых решения (для банков, розничной торговли и здравоохранения), инфраструктуру разработки SAP NetWeaver и некоторые другие.

Выбор конкретного продукта зависит от целей, которые ставит перед собой учебное заведение в процессе обучения SAP. Он во многом определяет структуру и уровень преподавания.

Изначально в системе нет данных, и для начинающих работу с SAP их внесение и настройка системы может представлять большую сложность. Поэтому существуют системы с предустановленным набором данных корпорации IDES.

Создание модульных учебных курсов, практических пособий и повышение квалификации преподавателей

Отдельно стоит задача обучения преподавательского состава работе в ERP-системах и создания методологической базы для их изучения. Для этой цели АЦК начал программу по созданию набора модульных курсов с использованием SAP ERP на основе программы Университетского альянса SAP "Global Curriculum". Наряду с практическими навыками преподаватели получают методический материал, готовый к применению в учебном процессе. Основные принципы организации курсов – модульность и ориентация на практический результат. Модульные курсы могут быть состыкованы с большим числом основных дисциплин – и в качестве базовых курсов, и как дополнительные практические упражнения.

Современные информационные бизнес-системы представляют собой сложный высокоинтегрированный продукт, их преподавание требует от преподавателей профессиональных навыков работы в таких системах и практически недоступно для самостоятельного освоения. Кроме того, имеющиеся курсы профессиональной подготовки ориентированы на формирование практических навыков работы конечных пользователей зачастую без понимания общего места того или иного модуля в структуре управления. Цель АЦК – разработка и организация системы курсов повышения квалификации для преподавателей вузов. В результате наряду с практическими навыками они получали бы методически выверенный материал, готовый к применению в учебном процессе.

Как уже упоминалось, акцент при обучении должен делаться на решение конкретных бизнес-задач, на понимание, какой именно процесс стоит за тем или иным программным решением. Поэтому при разработке курсов теоретической части должно уделяться значительное внимание, не меньшее чем практическому освоению системы, которое может быть в значительной мере отдано для самостоятельного изучения. Разрабатываемые АЦК курсы всегда увязываются с поставляемыми хостинг-центром системами, таким образом преподаватели избавлены от сложностей, связанных с настройкой системы, и могут сосредоточиться непосредственно на решаемых задачах.

В 2009 году АЦК был проведен опрос преподавателей ведущих вузов России, начавших использовать SAP, и на его основе сформирован рейтинг наиболее востребованных тематик, по которым следует разработать курсы.

Для обсуждения было предложено 12 курсов. Их предстояло проранжировать в зависимости от важности для студентов конкретного вуза от нуля до пяти. Можно было предложить и свои тематики, включив их в общее ранжирование. Результаты представлены в таблице.

В проведенном опросе практически все вузы отмечали высокую актуальность преподавания SAP, особенно в условиях кризиса, когда выпускникам приходится прилагать усилия, чтобы найти себе работу.

Удачный пример адаптации зарубежных курсов – вводный курс "Производство мотоциклов в системе SAP ERP", локализованный для российских вузов совместно Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом и университетом Otto-von-Guericke (Магдебург, Германия). Особенность курса в том, что все данные и настройки, необходимые в процессе выполнения упражнений, создаются слушателями с нуля в живой системе.

Серия практических занятий основана на сквозном примере создания производства и продажи мотоциклов. Примеры направлены на выработку понимания интеграции бизнес-процессов и практических навыков работы с ERP-системой SAP. Основные процессы, используемые в курсе: закупки, планирование потребности в материалах, выполнение производства, контроллинг затрат на производство, сбыт.

Курс не предъявляет требований к начальному уровню знаний слушателей и рекомендован

Результаты ранжирования

ТЕМАТИКИ, ПРЕДЛОЖЕННЫЕ АЦК SAP	Количество часов	Средняя оценка
Управление проектами (основы управления проектами, практика в SAP PS)	48	4,3
Введение в ERP SAP (обзор, структура и начальные навыки работы)	16	5,0
Управление жизненным циклом продукта в ERP (обзор PLM-решений SAP)	16	3,5
Управление основными средствами предприятия и ТОРО	48	3,2
Управление инфраструктурой организации (фасилити-менеджмент)	72	3,4
Бухгалтерский учет в SAP ERP (учет основных хозяйственных операций, работа с различными планами счетов)	48	4,0
Введение в FI и CO в ERP SAP (основы+практика SAP на сквозном примере)	24	4,0
Управленческий учет в SAP ERP (методика построения, реализация на SAP)	48	4,4
Бизнес-процессы в управлении человеческим капиталом	36	3,7
Система управления качеством в SAP ERP	16	3,8
Интеграция ERP с системами управления производством (обзор решений, XMII, упражнения)	48	4,2
Планирование производства в ERP SAP	24	3,6

для студентов III – V курсов. В ходе выполнения упражнений студенты полностью погружаются в среду ERP SAP, эффективно осваивая навыки навигации в системе и получая базовые знания о ее устройстве и взаимосвязи различных процессов.

Система профессиональной сертификации студентов

Степень профессионализма наряду с общим уровнем образования играет ключевую роль в дальнейшем трудоустройстве выпускника. Учитывая избыток предложения на рынке труда и обострившуюся конкуренцию в IT-сфере, встает вопрос о гарантиях для работодателя уровня полученных студентами знаний. Традиционно данный вопрос решается с помощью системы профессиональной сертификации, когда знания слушателя подтверждены независимым образом. Наилучшим вариантом представляется схема, при которой сертификацию осуществляет непосредственно компания-производитель IT-решения, поскольку в этом случае достигается максимальная заинтересованность в поддержании высокого уровня знаний.

По данному пути пошла ведущая мировая компания по разработке программных решений для управления бизнесом SAP AG (www.sap.ru). В рамках программы "Университетский альянс SAP" она предоставила студентам вузов, являющимся членами альянса, возможность пройти обучение и получить сертификат SAP по курсу SAP TERP10 "Интеграция бизнес-процессов".

Выбор данного курса как базового не случаен. Курс является интеграционным и позволяет охватить практически все основные функциональные возможности ERP-системы SAP. Он может стать как первой ступенью для дальнейшего более углубленного изучения модулей и решений SAP, так и подытоживающим процесс обучения.

В отличие от специализированных курсов, которые рассчитаны на работу с конкретным решением или модулем, курс TERP10 дает понимание функционирования системы в целом и взаимодействия отдельных ее компонент. Обладая таким, более универсальным, знанием, можно гораздо лучше понимать и эффективнее использовать столь сложный инструмент, как SAP.

Курс включает:

обзор планирования ресурсов предприятия (ERP);

основные функции SAP NetWeaver как технической платформы для SAP ERP;

обзор интегрированных сценариев логистики для обработки заказов клиентов, планирования материалов и выполнения производства, процесса заготовки на стороне, управления запасами и складами, управления основными средствами предприятия и управления проектами;

интеграцию модуля *Финансы* со сценариями логистики, включая бухгалтерию *Главной книги*, операции с кредиторами и дебиторами и *Учет основных средств*;

компоненты контроллинга учета по местам возникновения затрат, внутренних заказов, затрат на продукт, учета по местам возникновения прибыли, учета результатов и учета затрат по процессам;

поддержку бизнес-процессов Product Lifecycle Management с использованием компонент PLM;

поддержку бизнес-процессов с использованием интегрированного *Управления человеческим капиталом*;

быстрое и эффективное использование информации с применением аналитических компонентов SAP;

Business Information Warehouse (SAP BW) и SAP Strategic Enterprise Management (SAP SEM).

Слушателям, успешно сдавшим сертификационные экзамены, выдается сертификат компании с квалификацией SAP Solution Architect, что позволит им сразу принимать участие в консалтинговых проектах по внедрению решений SAP.

Академические центры компетенции как форма стратегического сотрудничества компаний и вузов доказали свою высокую эффективность. Учебные заведения получают столь необходимые им компетенции и возможности для того, чтобы стать центрами инноваций в области ИКТ, и повышают востребованность своих выпускников. IT-вендоры в свою очередь эффективно решают проблему кадрового обеспечения своих клиентов и партнеров.

Следующим этапом сотрудничества должно быть более активное вовлечение университетов в совместные исследования и разработки в

сфере передовых информационных технологий путем создания на базе вузов научно-исследовательских центров, где студенты и преподаватели смогут вести совместные проекты с исследовательскими подразделениями данных компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. mySAPERP Integration of Business Processes / SAP AG. Вальдорф. 2006.

2. **Беккер Й., Вилков Л., Таратухин В.** и др. Менеджмент процессов. М.: Эксмо. 2007.

УДК 681.5

Р.А. Гарифуллин

СИНТЕЗ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ

Оптимальная постановка задачи призвана обеспечить наилучшие показатели качества конечного результата и процесса решения проблемы при правильном выборе критерия. Оптимизация задачи связана с решением метазадач целеполагания, синтеза критерия задачи, анализа исходных данных и эффективности использования наличных ресурсов решающей системы, значимости вводимых ограничений. Решение этих метазадач позволяет обосновать не только формулировку исходной корневой задачи, но и синтез алгоритма ее решения, а также алгоритмы оценки достоверности, эффективности и алгоритм управления процессом решения.

Проблема составления расписания в любом учебном заведении в достаточной степени изучена. Разработаны математические методы решения данной проблемы. Единственное приемлемое решение при этом состоит в переборе всех возможных комбинаций конечного расписания с учетом, разумеется, определенных ограничивающих условий. Очевидно, что число допустимых расписаний может быть слишком велико, поэтому для выбора оптимального расписания используются специальные процедуры. Обычно в работах по составлению учебных расписаний в качестве частных критериев оптимальности могут выступать такие критерии, как минимум "окон" в расписании, равномерность учебной нагрузки преподавателей и групп и т. п. Число критериев, учитываемых при составлении расписания вручную, может достигать сорока и более. Известно, что задачи с большим числом ограничений являются сложными, поэтому в вузах расписанием обычно занимаются диспетчерские службы (бюро расписаний), которые осуществляют деятельность по составлению и модификации расписания непрерывно в течение рабочей недели. Однако даже опытный диспетчер не способен одновременно оценивать расписание более чем по десяти критериям. Поэтому он попеременно рассматривает различные частные критерии, при этом выбор диспетчера обоснован лишь его личным опытом и может быть субъективен. Существующие методы многокритериального анализа лишь ограниченно пригодны для анализа задач с большим числом критериев. Расписание, составленное без учета личных предпочтений преподавателей и учебных групп, не может быть оценено диспетчером как удовлетворительное. Кроме того, так как образовательная система есть вариант социальной системы, можно рассмотреть процесс составления учебного расписания как процесс принятия социального решения.

Постановка проблемы

Наименее обоснованным и сложным этапом постановки какой-либо информационно-материальной задачи является выбор, параметрическая настройка критерия оптимизации получаемых решений, установление компромисса

между противоречивыми требованиями к результату решения.

Критерий в общепринятом смысле означает отличительный признак, на основании которого строится оценка объекта, процесса, результата. Основным смысловым компонентом общего понятия критерия, отличающим его от других свойств, характеристик, признаков, атрибутов произвольных объектов и процессов, служит содержащееся в критерии выражение целевой ориентации критериальной оценки, отражающей позитивные или негативные свойства проблемного объекта в соответствии с поставленными целями.

Критериальная (целевая) функция оценивает меры сходства и различия, состояние достижения цели или расстояние между реальными характеристиками и целевыми идеальными характеристиками, а также выражает необходимые и достаточные требования к алгоритму, процессу и результату решения, определяющему свойства проблемной системы.

Целевая функция выражает согласование в системе предпочтений всех существующих частных характеристик. В предметной семантике условия и соответствующие им частные критерии далеко не равнозначны, а сумма их в целевой функции вообще может быть бессмысленной, если характеристики имеют разные единицы измерения. Эти недостатки критериальной функции исправляются "взвешиванием" частных критериев. Их вес во многих задачах представляется в виде произведения важности, номинальной точности и ценности соответствующего источника информации [1].

В задаче составления расписания используется множество различных данных, поэтому для того, чтобы принять решение по определению наилучшего места читаемой дисциплины в сетке расписания, необходимо учесть влияние всех негативных факторов, а также приоритетов и ограничений. Эти условия необходимо свести к единой целевой функции, которая отражает потери системы, значит, для получения оптимального расписания необходимо свести результирующий критерий к минимуму

Синтез интегрального критерия

Негативными свойствами системы составления расписания считают наличие "окон" и переходов в другие аудитории, измеряемых функцией расстояния. "Окно" – свободный временной интервал между занятиями для преподавателя или студентов в определенный день. Единицей измерения величины "окна" является одна пара занятий. Расстояние между данным местоположением соответствующего преподавателя или группы студентов и местоположением кабинета следующего занятия считается существенным, если оно превышает один корпус. Расстояние между корпусами измеряется в условных единицах k, назначаемых экспертами, например, k равно среднему расстоянию между ближайшими корпусами вуза. С учетом этого составляется матрица значений расстояний для всех корпусов, с помощью которой вычисляются значения функции расстояния.

В процессе составления расписания для каждого дня занятия подсчитывается количество "окон" и расстояния между аудиториями для преподавателей – соответственно O_p и R_p, и для групп студентов – O_g и R_g. Эти частные критерии ранжируются, упорядочиваются по степени важности требований и переводятся в числовую или ранговую шкалу. Назначаются весовые характеристики частных критериев. Пусть p^{o}_{p} – вес "окна" для преподавателей, p^{o}_{g} – для групп студентов; p^{r}_{p} – вес расстояния для преподавателей, p^{r}_{g} – для групп студентов.

В алгоритме были установлены следующие соотношения: $p^{o}_{p} < p^{o}_{g}$ – "окна" для групп студентов важнее "окон" для преподавателей, поэтому их вес имеет большее значение, $p^{r}_{p} > p^{r}_{g}$ – преподаватели должны иметь как можно меньшее значение переходов (расстояний) между аудиториями, где они проводят занятия, а для групп данное свойство менее существенно, $p^{o} > p^{r}$ – критерии "окон" важнее расстояний. Таким образом получается система предпочтений для весовых характеристик:

$$p^{o}_{g} > p^{o}_{p} > p^{r}_{p} > p^{r}_{g}.$$

Веса критериальных функций определяются экспертным путем. При этом интегральный критерий ρ есть взвешенная сумма частных критериев, нормированных максимальными значениями $\rho_{i\ max}$:

$$\rho(x) = \sum_{i} p_i \frac{\rho_i}{\rho_{i\ max}}.$$

Подсчет "окон" сводится к операции суммирования $\sum O$ для каждого дня. Оценки переходов между занятиями подсчитываются по корпусам R_p^k, учитывается и расстояние между этажами R_p^e. Данные критериальной функции также необходимо "взвесить", соответственно для корпусов и этажей – p_r^k и p_r^e. Тогда подсчет расстояний выглядит таким образом:

$$\sum (p_r^e R_p^e + p_r^k R_p^k).$$

Критерии являются линейными функциями. Учитывая критериальные оценки для преподавателей и групп, имеем формулу

$$p_p^o \sum O_p + p_p^r \sum (p_r^e R_p^e + p_r^k R_p^k) + \\ + p_g^o \sum O_g + p_g^r \sum (p_r^e R_g^e + p_r^k R_g^k).$$

Она оценивает суммарную меру негативных элементов системы для конкретного случая, т. е. для определенного преподавателя, предмета, группы и дня недели.

Согласно рекомендациям службы санэпиднадзора, сложность учебной нагрузки должна быть минимальной в понедельник, возрастать к среде и убывать к концу недели (см., например, [2]), а дневная нагрузка в вузах не должна превышать четырех пар. Данное условие иногда нарушается, чтобы согласовать расписание. В таких случаях вводится штрафная функция p_{nagr}. Она определяется таким образом: с первой по четвертую пару занятий значение штрафа равно нулю, далее значения возрастают. Графически это представлено на рисунке.

Значение этой функции вычисляется для каждого дня, так же как и окна и расстояния. Критерий считается для негативных элементов, поэтому полученная ранее формула принимает вид:

$$\left(p_p^o \sum O_p + p_p^r \sum (p_r^e R_p^e + p_r^k R_p^k) + \right. \\ \left. + p_g^o \sum O_g + p_g^r \sum (p_r^e R_g^e + p_r^k R_g^k)\right) + p_{nagr}.$$

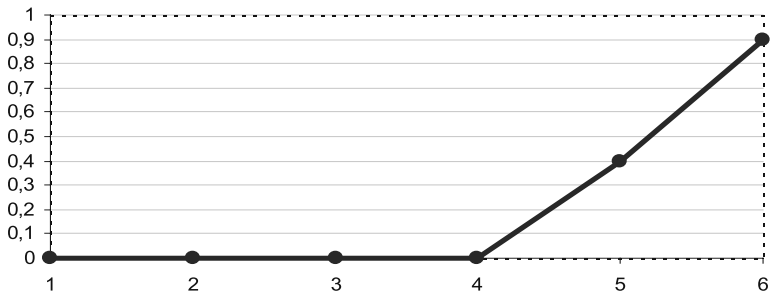
Далее необходимо учесть предпочтения преподавателей на время проведения занятий. Предварительно составляется таблица приоритетов k_t для каждого дня и пары занятий. Желаемое время проведения занятий получает наивысший приоритет. Также вводится ранжирование преподавателей, которые имеют приоритет по отношению друг к другу k_{pr}, определяющий порядок просмотра преподавателей при составлении расписания. Для вычислений используем нормированное значение приоритета k'_{pr}, $0 < k'_{pr} \le 1$, $k'_{pr} = \dfrac{k_{pr}}{k_{max}}$. Тогда формула вычисления критерия для преподавателя принимает вид:

$$\lambda_{pr} = \left((p_p^o \sum O_p + p_p^r \sum (p_r^e R_p^e + p_r^k R_p^k) + \right. \\ \left. + p_g^o \sum O_g + p_g^r \sum (p_r^e R_g^e + p_r^k R_g^k) + p_{nagr})\right) k'_{pr} / k_t.$$

Чтобы оценить работу системы в целом, необходимо вычислить сводный критерий для всех преподавателей и групп студентов. Получаем выражение

$$\lambda = \sum_{pr} k'_{pr} \left(\sum_g \left(\sum_d \left(\left((p_p^o \sum O_p + p_p^r \sum (p_r^e R_p^e + p_r^k R_p^k) + \right. \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \left. + p_g^o \sum O_g + p_g^r \sum (p_r^e R_g^e + p_r^k R_g^k) + p_{nagr}) \right) / k_t \right) \right) \right),$$

где $\sum_d$ – подсчет по всем дням; $\sum_g$ – подсчет по всем группам, у которых преподает соответствующий преподаватель; $\sum_{pr}$ – подсчет по всем преподавателям.



Определение штрафной функции

Алгоритм реализован на языке php в стандартной операционной системе. В связи со сложностью вычисления интегрального критерия для работы системы составления оптимального расписания предполагается использовать суперЭВМ университета.

Таким образом, в процессе создания автоматизированной системы составления расписания были выбраны основные частные критерии, характеризующие негативные элементы системы ("окна" и значение переходов (расстояние) между аудиториями), назначены весовые характеристики, учтены основные требования (ограничения, предпочтения и приоритеты преподавателей и студентов) и составлен интегральный критерий, позволяющий оценить оптимальность результата составления расписания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зверев Г.Н.** Теоретическая информатика и ее основания. В 2 т. Т. 2. М.: Физматлит. 2009. 576 с.

2. **Галузин К.С.** Математическая модель оптимального учебного расписания с учетом нечетких предпочтений: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Пермь. 2004. 148 с.

УДК 658.012: 004.42

Ю. А. Голландцев, В.А. Дубенецкий

АРХИТЕКТУРА КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ВУЗЕ

Информационные системы планирования и управления ресурсами производства, видами поставок комплектующих изделий и исходных материалов класса MRP/ERP подтвердили свою эффективность при использовании в хорошо формализованных средах, к которым относится промышленное производство. Возникает естественное желание рассмотреть особенности применения систем класса MRP/ERP в слабо формализованных средах, к которым относится образовательный процесс в вузах. Под MRP/ERP соответственно понимаем Manufacturing Requirement Planning и Enterprise Resource Planning.

Любая система класса MRP/ERP рассчитана на множество реализаций и развитие во времени. Поэтому каждая информационная система строится как специализированный инструментарий для реализации проектных решений в области управления предприятием и имеет большое количество параметров настройки. Кроме того, у каждой системы есть свои развитые средства программирования и настройки. Проблема заключается в том, какие классы моделей предприятия используются в качестве основы для настройки и какими средствами осуществляется такая настройка.

Настройку системы под конкретный проект внедрения желательно выполнять в рамках параметризации периода исполнения. Обеспечить такие возможности позволяет подход, основанный на динамическом описании модели организации и использовании ее в качестве основы для обеспечения нужных свойств конкретной реализации.

Одна из проблем внедрения ERP-системы связана с тем, что разработанное программное обеспечение не способно справиться со значи-

тельным потоком изменений, порождаемых как новыми проектами внедрения, так и сопровождением уже внедренных проектов. Для построения корпоративной информационной системы (КИС) управления вузом проблемы, связанные с потоком изменений, только усиливаются. Проблему изменений частично предлагается решить путем построения архитектуры КИС, основанной на моделировании абстрактных моделей.

В данной статье рассматриваются варианты практической реализации проектных решений по информационной поддержке задач управления учебным процессом в среде ERP-системы "РЕСУРС", использующей объектное представление модели предметной области и обладающей необходимыми инструментами для ее реализации.

Характеристика инструментальных средств ERP-системы

В отличие от других корпоративных информационных систем ядро системы "РЕСУРС" построено не на базовой модели предметной области, а на совокупности базовых абстрактных моделей (БАМ). Это решение обеспечивает большую устойчивость к изменениям, чем решения, основанные на базовой модели предметной области.

Инструментальные средства периода исполнения для реализации КИС поддерживают полный набор сервисов для работы с такими моделями. Метаданные системы достаточно устойчивы при различных внедрениях. Модель предметной области для конкретного проекта внедрения может быть реализована без коррекции метаданных инструментальной системы. Реализация проекта внедрения осуществляется на основе разработанного *Проекта внедрения* и *Метаданных для моделирования БАМ*. *Модель проекта* создается в терминах БАМ, используя существующий *Инструмент настройки*. Данная модель индивидуальна для каждого проекта внедрения. Единый *Исполнитель приложения* обеспечивает реализацию необходимых функций путем интерпретации данных *Модели проекта* в терминах БАМ.

Этот подход приводит к тому, что разработанное программное обеспечение оказывается способным справиться со значительным потоком изменений, порождаемых как новыми проектами внедрения, так и сопровождением уже внедренных проектов.

При настройке *Модели проекта* для решения задач ведения спецификаций образовательных программ в инструментальной среде системы класса ERP "РЕСУРС" необходимо обеспечить ведение основной части нормативных данных для планирования и учета учебного процесса. Последовательность разработки и настройки модели следующая:

разработка структуры классов для ведения спецификаций образовательных объектов;

разработка и настройка проектных решений для ведения спецификаций образовательных программ, обеспечивающих управление их структурой и нормирования требуемых ресурсов;

разработка и настройка бизнес-логики управления состояниями образовательных программ и их компонентов.

Формирование структуры классов для ведения спецификаций образовательных объектов

Важной частью проектных решений является разработка структуры классов-сущностей, позволяющей описать нормативные данные. В [1] дано описание отдельных проектных решений по моделированию объектов для целей информационной поддержки управления образовательным процессом. Инструментарий используемой ERP-системы позволяет непосредственно настроить структуру классов в соответствии с требованиями проекта. Результаты настройки проектных решений по структуре классов в рамках рассматриваемого примера представлены на рис. 1. Настройку выполняют в соответствии с проектом внедрения, используя инструментарий ERP-системы. Введение класса-сущности *Образовательные объекты* обеспечивает необходимую однородность для спецификации состава и содержания образовательных программ и их компонентов. Конкретизация обеспечивает необходимое разнообразие подклассов образовательных объектов.

На основе использования механизма дополнительных характеристик выполняется настройка состава атрибутов каждого из введенных компонентов в соответствии с проектом внедрения. На рис. 2 представлен пример формирования состава дополнительных атрибутов для класса-сущности *Дисциплина*.

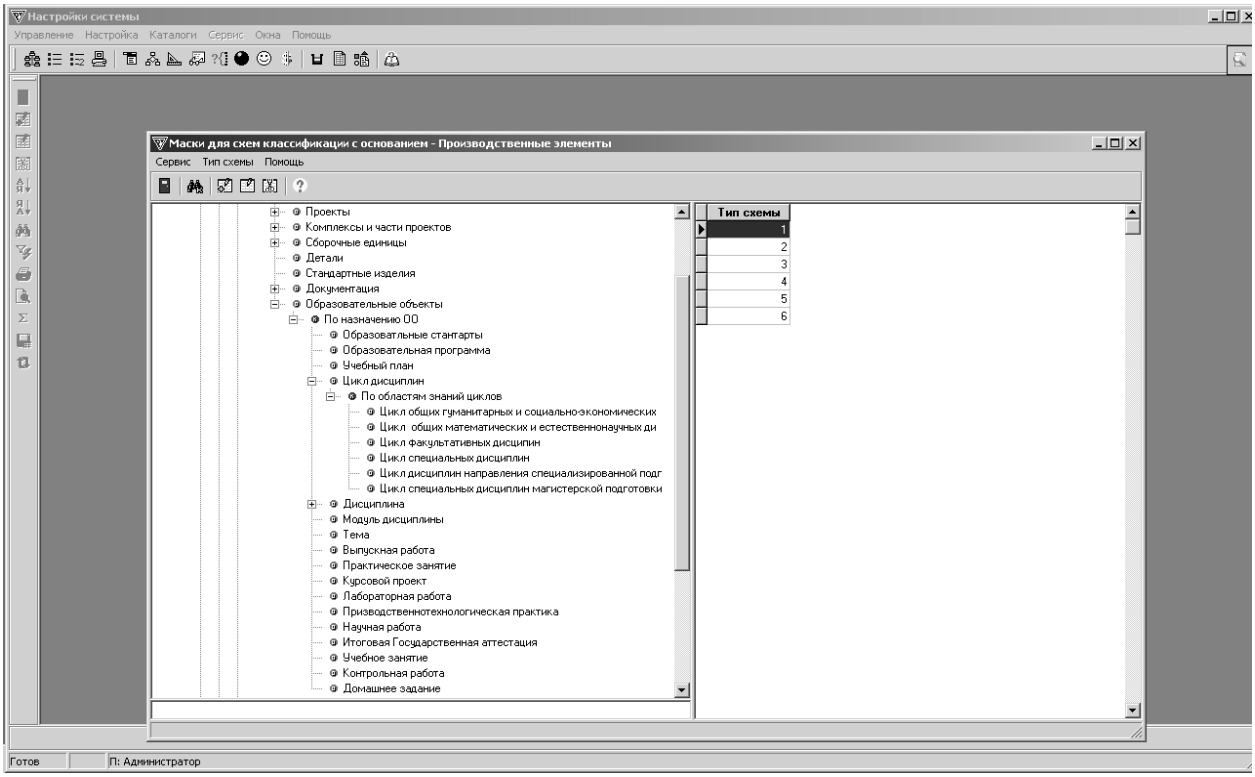


Рис. 1. Пример настройки схемы классификации

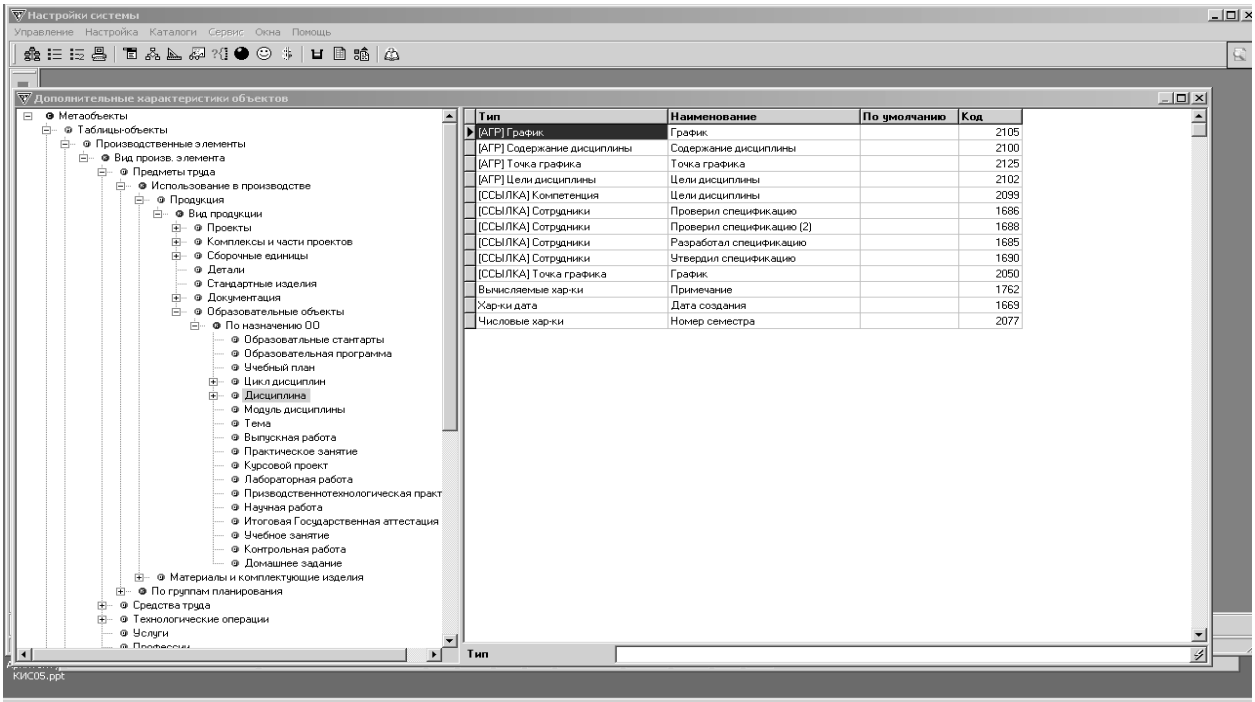


Рис. 2. Пример формирования состава дополнительных атрибутов

Дополнительная характеристика *Цели дисциплины: Компетенции* позволяет формировать списки компетенций для описания целей конкретной дисциплины. Класс-сущность *Компетенции* предварительно добавлен в схему классификации вместе со своей частью схемы классификации.

Разработка и настройка проектных решений для ведения спецификаций образовательных программ

Для спецификации структуры и норм расхода ресурсов применяется классическая иерархическая операционно-ресурсная модель изделия. Каждая строка спецификации *Образовательной программы* или ее компонента содержит ссылку на входящий компонент и необходимые нормативные данные о расходе ресурсов. Чтобы решить проблему групповых спецификаций, допускающих построение вариантов путем выбора одной строки из заданного подмножества взаимоисключающих строк, используется механизм допустимых замен. Пример первого уровня спецификации конкретной образовательной программы представлен на рис. 3.

В состав образовательной программы включены соответствующие циклы дисциплин, профессиональная работа по направлению, две практики и магистерская диссертация. Первый цикл дисциплин допускает выбор одного из четырех циклов, которые описаны как допустимые замены. Третий цикл дисциплин допускает выбор одного из двух вариантов. На данном уровне требуемые ресурсы описаны неявно в виде количества компонентов в составе, равного единице.

Каждый цикл дисциплин может быть представлен в виде соответствующих строк спецификации, часть из которых ссылается на дисциплины. Данный подход к формированию спецификации может быть применен к компоненту любого подкласса сущности *Образовательный объект*. Состав и структура подклассов на этапе реализации проекта и сопровождения открыты для изменений группе сопровождения КИС.

Для описания операций обучения в проектном решении и настройке системы выделен класс-сущность *Технологические операции обучения* и его подклассы: *аудиторные занятия; лабо-*

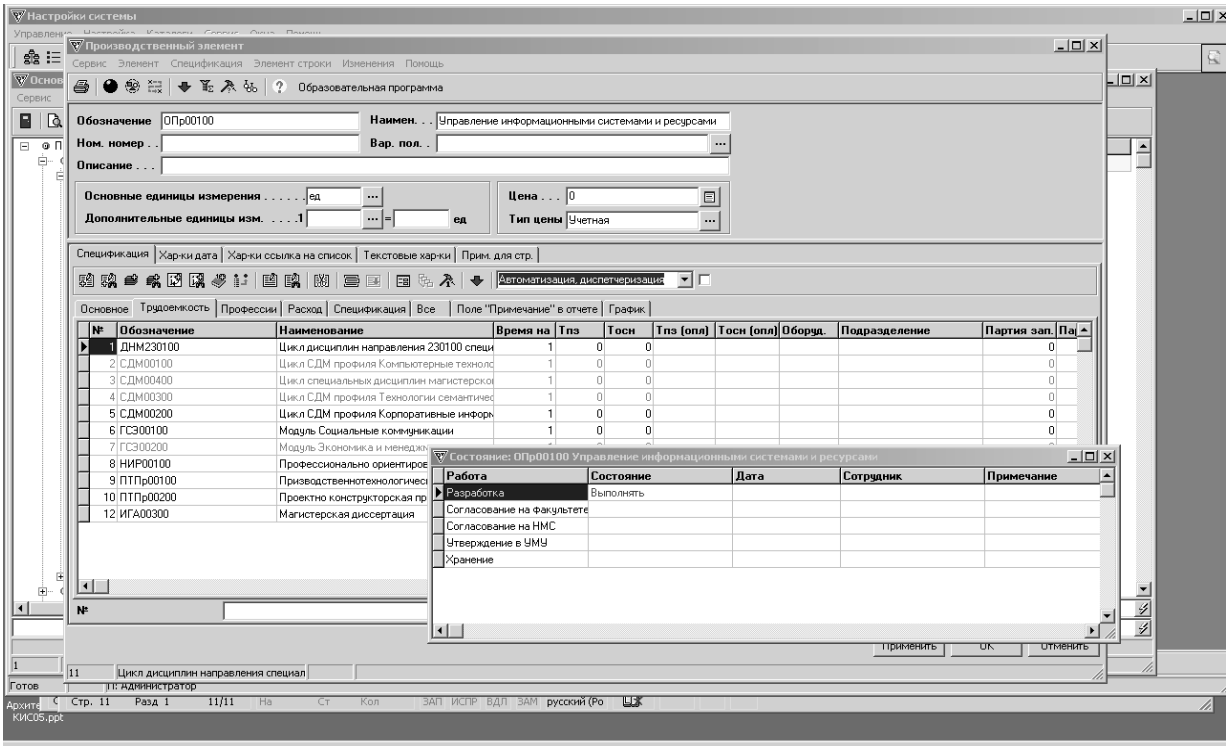


Рис. 3. Пример формирования спецификации образовательной программы

раторные занятия; руководство; контроль знаний и аттестация; прочие операции обучения.

Данную структуру, как и приведенные ранее, следует рассматривать в качестве тестовой версии. Разработка структуры классов требует выполнения дополнительной серьезной аналитической и проектной работы. Однако если такая схема разработана, то ее реализация в среде ERP-системы, как показано, может быть выполнена путем настройки достаточно быстро.

В соответствии с моделью, принятой в применяемой ERP-системе, строка спецификации любого компонента продукции может относиться к описанию, и состава, и технологической операции. По умолчанию принято, что все компоненты, не являющиеся операциями и расположенные выше данной, рассматриваются как необходимые ресурсы для этой операции. Кроме того, операционная строка спецификации содержит данные об ответственном подразделении, норме времени на выполнение операции. Предлагается поле *Тпз* (подготовительно-заключительное время) использовать для указания объема академических часов (ак. ч), выделяемых на выполнение соответствующей операции обучения. Поле *Тосн* (штучное время) предлагается использовать для указания нормы времени по операции в расчете на одного обучающегося (ак. ч/студ.). Пример операционной спецификации для элемента сущности *Тема* представлен на рис. 4.

В соответствии с разделом "Распределение учебных часов по темам, видам занятий и видам самостоятельной работы" рабочей программы дисциплины на тему *Корпоративные информационно-управляющие системы* выделены следующие временные ресурсы: *проведение лекций* – 1 ак. ч; *проведение практического занятия* – 1 ак. ч; *самостоятельная работа* – 1 ак. ч.

С целью задания относительного времени выполнения работ по обучению для соответствующих компонентов образовательной программы введен атрибут *Относительное время проведения: Точка графика*. В соответствии с проектом сущность *Точка графика* имеет четыре атрибута:

семестр в точке: Номер семестра;
неделя в семестре: Номер недели;
день в точке: День недели;
учебная пара в точке: Учебная пара.

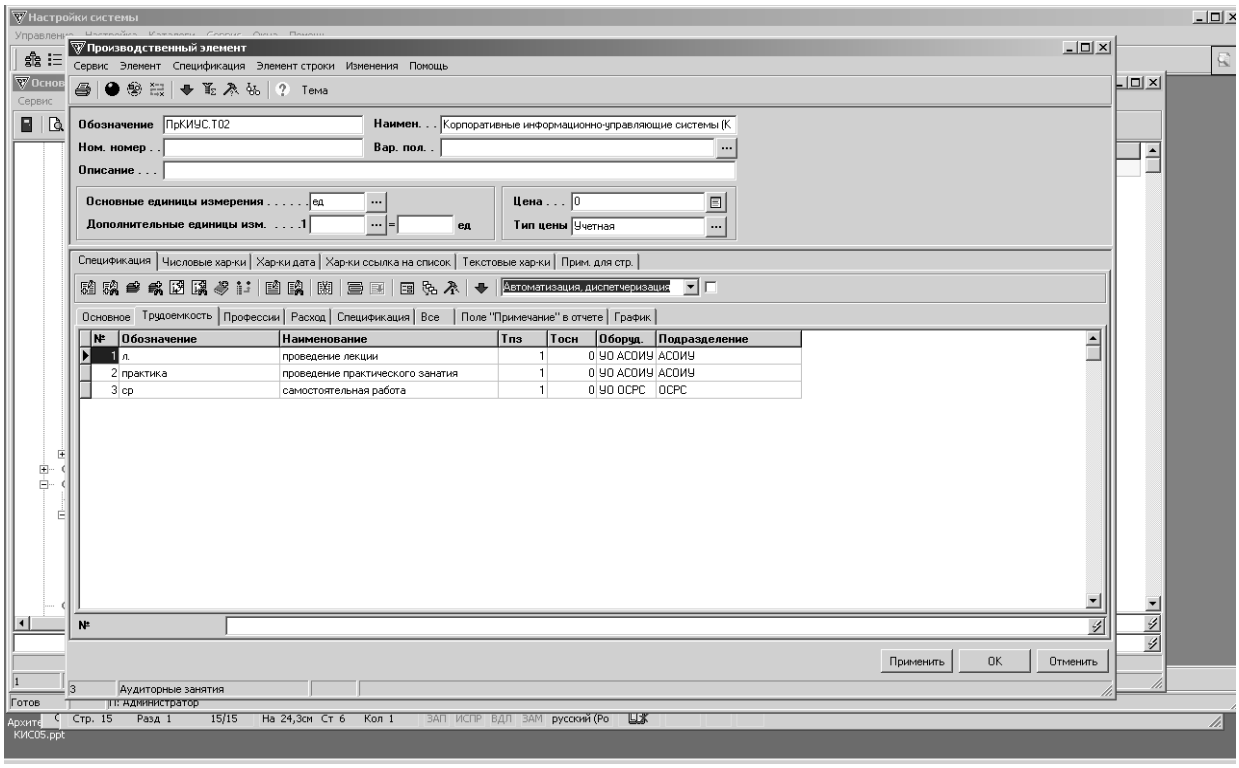


Рис. 4. Пример спецификаций операций обучения по конкретной теме дисциплины

Каждая точка представляет нужный относительный временной интервал в соответствии с требуемым уровнем дискретизации. Приведенный пример спецификации образовательной программы позволяет применить к ней весь набор сервисов ERP-системы для работы со спецификациями изделий, в частности:

расчет трудоёмкости изделия (образовательной программы, дисциплины и др.) с разделением по подразделениям и группам технологических операций (обучения) временным интервалам, группам дисциплин, дисциплинам, требуемому оборудованию и другим характеристикам;

подготовку разнообразных отчетных документов (с использованием генератора отчетов можно разработать процедуры формирования всего перечня необходимых документов);

включение экземпляров образовательных программ в планы вуза и расчета требуемых ресурсов на их реализацию;

использование спецификаций при расчете расписания занятий;

использование спецификаций и развернутых расписаний для учета учебной работы.

При формировании плана обучения в учебный процесс одновременно могут быть запущены несколько различных вариантов образовательных программ.

Настройка бизнес-логики управления состояниями образовательных программ и их компонентов

С целью отслеживания и управления состояниями элементов классов в рассматриваемой ERP-системе используется модель управления потоками работ. Управление потоками работ – важная часть проектных решений и реализации. Чтобы использовать эти возможности, для каждого класса-сущности требуется разработать и настроить схему работ. Она основана на автоматной модели и позволяет управлять состоянием каждого элемента класса-сущности с использованием событий приложения и решений пользователей. Применение схем работ позволяет обеспечить разделение зон ответственности, прав доступа при выполнении различных работ с элементами, а также синхронизацию работ. В данной статье приведен пример настройки схемы работ для класса-сущности *Образовательная*

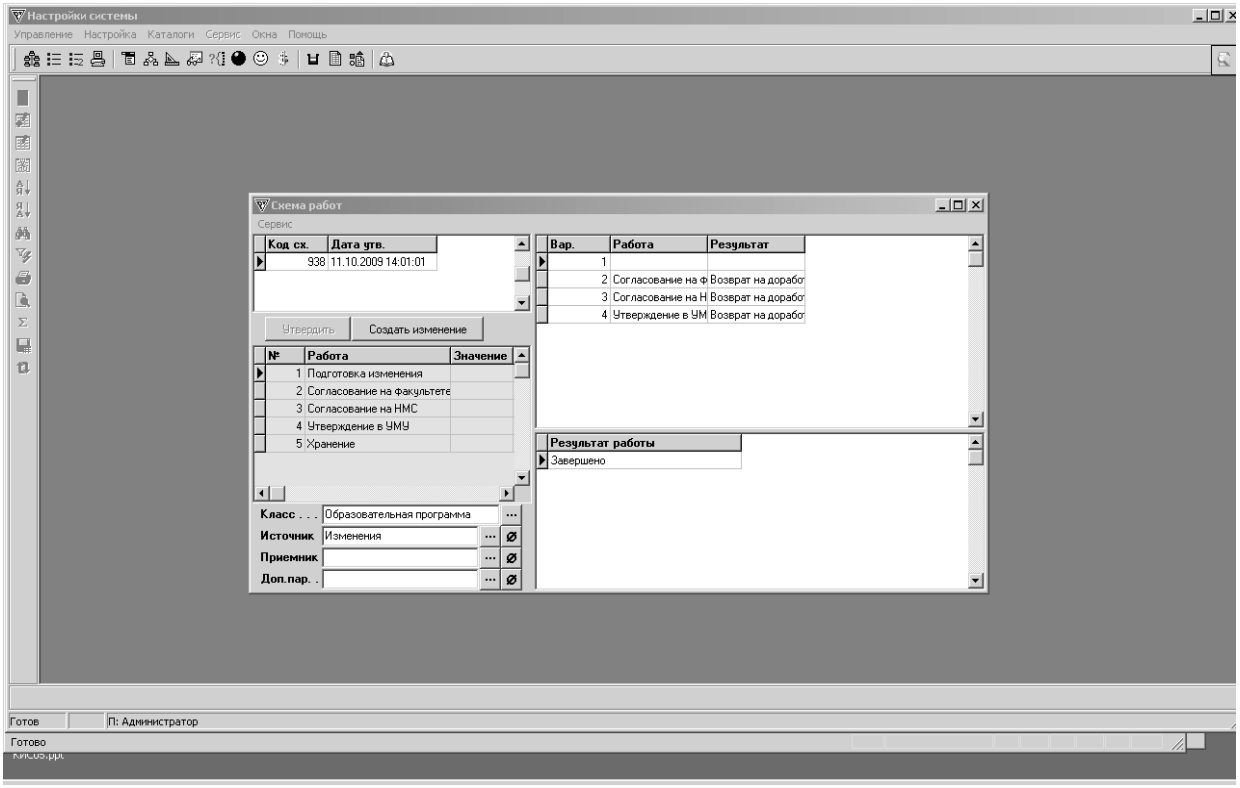


Рис. 5. Пример настройки схемы работ

программа (рис. 5). Форма для использования схемы работ представлена на рис. 3.

Следствием применения схем работ является возможность информационной поддержки процессов управления изменениями. Информационная поддержка процессов создания, согласования, ввода в действие и архивирования изменений обеспечивает корректность и актуальность всех данных КИС. В рассматриваемой системе механизмы управления изменениями могут быть применены к элементам каждого созданного класса-сущности.

Важная часть инструментария периода исполнения заключается в возможности настройки электронного документооборота на основе создания классификатора документов, шаблонов документов, схем работ для документов, привязки документов к другим компонентам, возможность создавать и модифицировать документы, генерируемые системой и регистрировать внешние документы.

Таким образом, показано, что при правильном выборе инструментальной системы реализация проектных решений по информационной поддержке процессов управления учебным процессом может быть в основном выполнена путем соответствующей настройки модели предметной области в среде инструментальной системы. Но для использования этих возможностей нужен хороший проект внедрения.

Корпоративные информационные системы для вузов должны обладать высокой степенью устойчивости к текущим изменениям. Один из путей решения проблемы устойчивости КИС к изменениям – использование объектно-ориентированного подхода к моделированию предметной области и создание мощного инструментария периода исполнения, основанного на использовании абстрактных моделей.

Приведенные примеры подтверждают возможность эффективного использования сервисов ERP-систем для реализации проектных решений по управлению учебным процессом. В целях эффективного использования сервисов ERP-системы необходимо разработать полноценный проект внедрения с использованием адекватных моделей описания проектных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В.** Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис. 2002. 304 с.

2. **Моисеев В.Б., Горбач С.П., Мошечков В.В.** Структурно-логические схемы специальностей как основа сетевой модели открытого образования: http://www.e-joe.ru/sod/00/5_00/mo1.html

3. **Булех Н.Л., Дубенецкий В.А., Золотов А.В., Филиппов С.Ж.** Информационная система управления производством “БАЗИС-РЕСУРС” (стандарт MRP-II) // Информационные технологии в машиностроении и судостроении: 7-я Всерос. науч.-практ. конф. / ЦНИИ РТК. СПб. 2006. С. 19–23.

4. **Голландцев Ю.А., Дубенецкий В.А.** О возможности применения информационных систем класса ERP для управления учебным процессом // НТВ СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 6.

УДК 004.67

С.Г. Фомичева, А.А. Попкова

КОЭФФИЦИЕНТ КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТИ КАК КРИТЕРИЙ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Сетевые информационные ресурсы в сочетании с традиционными ресурсами обеспечивают современной вузовской библиотеке роль информационно-образовательного центра. Несомненно, качество образования напрямую зависит от качества учебно-методических и научных фондов образовательного учреждения. В связи с этим для многих вузов РФ становится актуальной задача непрерывного мониторинга уровня информационно-библиотечного обеспечения учебного процесса и обоснованности рационального использования аппаратно-программных и людских ресурсов вуза для комплектования соответствующих фондов в контексте системы качества образовательного учреждения.

При комплектовании фонда библиотека вуза руководствуется нормативными документами, которые являются определяющими критериями для оценки соответствующих учебных заведений при их лицензировании, аккредитации и аттестации. Следует отметить, что многие вузы РФ обладают достаточно обширной базой электронных внутривузовских изданий, включая статьи, учебные пособия, методические указания и т. д. При этом доля электронных изданий по отношению к традиционным существенно возрастает из года в год, а механизмы их учёта при подсчёте книгообеспеченности либо не автоматизированы, либо не интегрированы с системой учёта твердых копий изданий.

Если в большинстве высших учебных заведений применяются информационные системы, позволяющие вести автоматизированный учёт бумажных и собственных электронных изданий, то системы принятия решений о необходимости переукомплектования учебно-методического фонда в основном отсутствуют. Это приводит к существенным задержкам при формировании заказов на закупку литературы, необоснованным затратам на покупку неактуальных или невостребованных изданий, а также завышенному штатному составу библиотечных работников. Следовательно, разработка системы поддержки принятия решений при управлении современной библиотекой вуза и системы непрерывного оперативного мониторинга информационно-библиотечного фонда вуза весьма актуальна.

Отметим, что между системами учёта и системами принятия решений имеются существенные отличия как в структурах данных, так и способах доступа к ним. Поэтому возникает необходимость в разработке методов интеграции данных из различных реляционных структур баз данных вузов в единую многомерную структуру БД, системы бизнес-правил для быстрого и гибкого формирования необходимых сводных аналитических отчётов.

В данной статье рассматриваются решения по созданию рациональной многомерной структуры хранилища данных, представляющего основу для системы мониторинга информационно-библиотечных фондов вузов РФ, которая может быть интегрирована в систему качества образовательного учреждения. В качестве одного из базовых критериев деятельности библиотеки образовательного учреждения анализируется коэффициент книгообеспеченности фонда в различных иерархических срезах, определяется степень его агрегации, а также влияние степени агрегации на скорость выполнения запросов при различных ограничениях на объёмы дискового пространства.

Обоснование необходимости проектирования хранилищ данных в вузе

Реформирование системы образования РФ приводит к необходимости совершенствования целой совокупности взаимосвязанных процессов управления вузом и сопровождения образовательной деятельности. Систематизация и формализация данных процессов в современном вузе, будучи сложной научно-технической задачей, при правильных решениях реализуется в виде эффективно функционирующей системы качества образовательного учреждения (СК ОУ). В свою очередь, система качества ориентирована на обеспечение реализации стандартов внутренней гарантии качества и предоставления объективной отчетности о качестве предоставляемых образовательных и иных услуг всем заинтересованным сторонам, в том числе при лицензировании, аккредитации и аттестации. По своему основному назначению система качества представляет собой аналитическую систему, поэтому структура ее данных должна быть оптимизирована для операций оперативного анализа. При системном подходе к управлению вузом информационно-библиотечные фонды не могут существовать изолированно от системы качества вуза, следовательно, автоматизированные информационно-библиотечные системы (АИБС) должны быть рационально интегрированы в единое хранилище данных (Data Warehouse) системы качества вуза. Отметим, что процесс "Библиотечное и информационное обслуживание" в типовой модели системы качества входит в инвариантное ядро, отнесен к основным (бизнес-процессам) и тесно связан с процессами "Управление информационной средой", "Управление ресурсами ОУ (управление инфраструктурой, образовательной и производственной средой)", "Редакционно-издательская деятельность", "Управление закупками", со всеми процессами "Деятельность руководства ОУ" и "Основные процессы ОУ". В частности, в процессе эксплуатации системы качества в ГОУВПО "Норильский индустриальный институт" по фактам представленного в данной статье многомерного куба производится более двухсот запросов в месяц.

Отметим, что наиболее популярные на данный момент АИБС, используемые в вузах России, являются транзакционными (OLTP) системами (табл. 1), которые не адаптированы для реализации аналитических функций.

Для системы поддержки принятия решений требуются хронологические данные – факты за определенные интервалы времени. В OLTP-системах истинность данных гарантирована только в момент чтения, поскольку уже в следующее мгновение они могут измениться в результате очередной транзакции. Важное отличие OLAP от OLTP-систем заключается в том, что данные в них сохраняют свою истинность в любой момент процесса чтения. В самом простом варианте для хранилищ данных используется та модель, которая лежит в основе транзакционной системы. Если, как это часто бывает, транзакционная система функционирует на реляционной СУБД (Oracle, Informix, Sybase, MS SQL Server, Postgrees и т. п.), самой сложной задачей становится выполнение запросов ad-hoc, поскольку невозможно заранее оптимизировать структуру БД так, чтобы все запросы работали эффективно.

Разработка единого корпоративного хранилища – долгий и дорогостоящий процесс. Это обусловлено как организационными, так и техническими причинами: информационная структура вузов, как правило, очень сложна, и руководство часто плохо понимает специфику происходящих бизнес-процессов; технология принятия решений ориентирована на существующие технические возможности и с трудом поддаётся изменениям; может возникнуть необходимость в частичном изменении организационной структуры вуза; требуются значительные инвестиции до того, как проект начнёт окупаться; как правило, требуется значительная модификация существующей технической базы; освоение новых технологий и программных продуктов сотрудниками вуза может потребовать много времени; на этапе разработки бывает трудно наладить взаимодействие между разработчиками и будущими пользователями хранилища. Поэтому в данном случае рациональным может стать подход формирования витрин данных.

Таблица 1

Обзор автоматизированных информационно-библиотечных систем, используемых в образовательных учреждениях РФ

Название АИБС	Автоматизированные функции	СУБД	Пользователи АИБС	Интеграция с СК ОУ
Буки (ООО "Рикс Хаус", г. Ярославль)	1. Модуль каталогизации. 2. Модуль инвентарного учёта. 3. Модуль абонемента и работы с читателем. 4. Модуль книгообеспеченности для библиотек вузов. 5. Модуль поиска данных через www. 6. Модуль администратора	SyBase ASE 12.5 и DBF-формат (архитектура файл-сервер)	10 ОУ и 3 библиотеки	Отсутствует
ИРБИС (ГПНТБ РФ, г. Красноярск)	1. Модуль каталогизации. 2. Модуль комплектования. 3. Модуль абонемента и работы с читателем. 4. Модуль администратора	DBF-формат (архитектура файл-сервер)	15 ОУ	Отсутствует
Библиотека 5.4 (ООО "Библиотечная компьютерная сеть", Москва)	1. Модуль каталогизации. 2. Модуль комплектования. 3. Модуль инвентарного учёта. 4. Модуль абонемента и работы с читателем. 5. Модуль поиска и загрузки данных через www	DBF-формат (архитектура файл-сервер)	49 ОУ и 27 различных организаций	Отсутствует
Руслан (компания "Открытые библиотечные системы", Санкт-Петербург)	1. Модуль каталогизации. 2. Модуль комплектования. 3. Модуль инвентарного учёта. 4. Модуль абонемента и работы с читателем. 5. Модуль поиска и заказа документа в электронном каталоге через www. 6. Модуль книгообеспеченности	Oracle (архитектура клиент-сервер)	43 вуза и 18 библиотек	Предлагаются решения интеграции данных с системой управления вузом
МАРК SQL (НПО "Информсистема", Москва)	1. Модуль каталогизации и картотеки статей. 2. Модуль комплектования и заказа периодики. 3. Модуль инвентарного учёта. 4. Модуль абонемента и работы с читателем (с поддержкой штрих-кодирования). 5. Модуль администратора. 6. Модуль книгообеспеченности. 7. Модуль поиска	Поддерживает реляционную модель БД и структурированные SQL-запросы, таких фирм как Microsoft, Sybase, Oracle, и др.	800 библиотек России и СНГ	Отсутствуют
КАИБС (Компания "Kazakh Soft", г. Алмата)	1. Модуль администрирвания. 2. Модуль комплектования и заказа периодики. 3. Модуль каталогизации и картотеки статей. 4. Модуль абонемента и работы с читателем (с поддержкой штрих-кодирования). 5. Модуль электронной библиотеки полнотекстовых ресурсов. 6. Модуль книгообеспеченности учебного процесса. 7. Модуль BookScan – создание электронных версий отсканированных книг. 8. Web-модуль поиска	DBF-формат (архитектура файл-сервер)	27 вузов, 82 библиотеки, 23 колледжа и лицея, 179 школ	Отсутствует
МИБС (г. Томск)	1. Модуль абонемента и работы с читателем 2. Модуль Internet поиска. 3. Модуль каталогизации	Postgrees	25 библиотек и 7 различных организаций	Отсутствует

Под витриной данных (ВД) понимается специализированное хранилище, обслуживающее одно из направлений деятельности вуза. Важно, что происходящие здесь бизнес-процессы, во-первых, относительно изучены и, во-вторых, не столь сложны, как процессы в масштабах всего вуза. Количество сотрудников, вовлеченных в конкретную деятельность, также невелико (рекомендуется, чтобы витрина обслуживала не более 10–15 человек).

Обращая внимание на данные табл. 1, отметим, что значительная часть АИБС в вузах РФ реализована на СУБД MS SQL Server. На сегодняшний день существует целый спектр фирм, предлагающих системы построения витрин данных, среди которых Informatica (PowerMart Suite), Sagent Technology (Data Mart Solution), Oracle (DataMart Suite), SQL Server Management Studio 2005 и многие другие. С целью соблюдения требования для идентичности платформы разработки, позволяющего уменьшить затраты на транспортировку данных из реляционных СУБД, в данной статье рассмотрим задачи проектирования многомерных структур данных с помощью SQL Server Management Studio 2005.

Практика принятия решений показала, что существует зависимость между частотой запросов и степенью агрегации данных, с которыми запросы оперируют, а именно чем более агрегированными являются данные, тем чаще запрос выполняется (табл. 2).

Таблица 2

Производительность запросов для действующего проекта АИБС "МАРК-SQL" по формированию сводных отчётов

Тип запроса	Среднее время выполнения запроса, мин	Частота запроса, %
Запросы с высокой избирательностью	$\leq 0,051$	До 20
Запросы со средней избирательностью	$> 0,051$ и $\leq 1,47$	20 – 90
Запросы с низкой избирательностью	$> 1,47$	Более 90

Несмотря на то что предсказать, какую именно информацию и в каком виде захочет получить пользователь, работая с СППР, практически невозможно, измерения, по которым проводится анализ, достаточно стабильны.

MARC-формат представления данных широко распространен в системах представления библиотечных ресурсов не только образовательных учреждений, но и в общенациональных библиотеках. Система "МАРК-SQL" полностью совместима с международными библиографическими форматами UNIMARC и USMARC на основе средств двухсторонней конверсии данных. Система также поддерживает Российский коммуникативный формат RUSMARC. Поэтому принципы организации хранилищ данных могут сыграть важную роль в развитии таких перспективных систем, как электронные библиотеки и средства доступа к ним посредством информационных магистралей. Концентрируя большие объёмы информации из множества источников в складах данных, к которым организован доступ по общенациональной сети, можно предоставлять огромные массивы информации обучающимся непосредственно по месту жительства, обучения или работы.

Формализация показателей книгообеспеченности вуза

В международной практике университетская библиотека рассматривается как многоцелевая система [1–3], и сегодня управление библиотекой считается многокритериальной задачей [4]. Весьма важна и проблема определения множества критериев, адекватно оценивающих качество работы библиотеки. Пока нет единого мнения о том, какими критериями должна оцениваться ее работа. В [5, 6] проанализировано более ста различных критериев (их также называют индикаторами качества), описанных в научной литературе и международных стандартах. К одним из базовых (но не единстенным) критериев относят коэффициент книгообеспеченности, который в соответствии с "Письмом учебно-методического управления по высшему образованию Министерства высшего и среднего специального образования СССР от 26 января 1978 г. №96-084-113/8" рассчитывается как частное от деления количества экземпляров книги конкретного наименования на число студентов, изучающих данную дисциплину или дисциплины, по которым используется данная книга:

$$K = \frac{P}{S}, \qquad (1)$$

где P – количество экземпляров данной книги; S – количество студентов.

При расчёте коэффициента книгообеспеченности по книге, используемой в двух семестрах, коэффициент обеспеченности определяется как частное от деления суммы экземпляров данной книги в каждом семестре на сумму числа студентов, использующих книгу в данных семестрах:

$$K = \frac{P_{\text{ср}}}{S_{\text{ср}}} = \frac{(P_1 + P_2 + ...) : 2}{(S_1 + S_2 + ...) : 2} = \frac{P_1 + P_2 + ...}{S_1 + S_2 + ...}, \qquad (2)$$

где $P_{\text{ср}}$ – среднее количество экземпляров книги; $S_{\text{ср}}$ – среднее количество студентов, использующих данную книгу; P_1 – количество экземпляров той же книги в первом семестре; P_2 – количество экземпляров той же книги во втором семестре; S_1 – количество студентов, использующих данную книгу в первом семестре; S_2 – количество студентов, использующих данную книгу во втором семестре.

Для расчёта показателя книгообеспеченности по дисциплине, специальности или циклу, где используется не одна, а несколько книг, коэффициент обеспеченности определяется как сумма экземпляров используемых книг, деленная на сумму числа студентов, использующих каждую книгу. Для n наименований коэффициент книгообеспеченности равен:

$$K_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + ... + P_n}{S_1 + S_2 + S_3 + ... + S_n}, \qquad (3)$$

где: P_1, P_2, P_3, P_n – количество экземпляров каждой книги; S_1, S_2, S_3, S_n – количество студентов, использующих каждую книгу.

Предположим, что по некоторой дисциплине для одного и того же контингента читателей используются n книг. Первая книга имеется в библиотеке в количестве P_1 экземпляров, вторая – в количестве P_2, n-я – в количестве P_N. Общее число студентов, использующих данные книги, равно S. Тогда формула (3) примет следующий вид:

$$K_{ср} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + ... + p_n}{s * n} = \left(\frac{P_1}{S} + \frac{P_2}{S} + \frac{P_3}{S} + ... + \frac{P_n}{S}\right) / n = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + ... + K_n}{n}, \qquad (4)$$

где n – число используемых наименований книг.

Другими словами, по конкретной дисциплине для одного и того же числа читателей нескольких книг коэффициент книгообеспеченности по дисциплине будет равен среднему арифметическому от суммы коэффициентов каждой книги.

Выражения (1) – (4) реализованы в большинстве АИБС, но в последнее время в связи с широким ростом использования в образовательном процессе электронных изданий они искажают истинную картину книгообеспеченности. Так, если в фонде количество экземпляров книг превышает количество студентов, которые используют данную книгу, коэффициент книгообеспеченности, определяемый в соответствии с (1) или (2), превышает единицу, что также приводит к искажению результатов при агрегировании данных. В случае электронных изданий наличие даже одного такого доступного экземпляра позволяет достичь верхней границы для коэффициента книгообеспеченности данного издания независимо от размера контингента, которому оно предназначено. Поэтому модифицируем выражение (1):

$$K = \begin{cases} \dfrac{P}{S} & \text{при } P < S \\ 1 \text{ при } P \geq S \text{ или } \exists P_{\text{электр}} \end{cases}. \qquad (5)$$

Тогда при агрегации данных выражение (4) будет корректным в записи (5):

$$K_{\text{ср}} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + ... + K_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{m} K_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^{l} K_{ш}^{\text{электр}}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{m} K_i}{n} + \frac{l}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{m} K_i}{n} + \varphi(l), \qquad (6)$$

где l – количество электронных изданий; m – количество изданий только в бумажном виде; $n = m + l$; $\varphi(l)$ – доля электронных изданий во всём множестве наименований.

До тех пор, пока доля электронных изданий сравнительно мала, проблема управления объёмом дискового пространства, требуемого для их хранения, не является острой. Однако, учитывая, что повысить показатели книгообеспеченности за счёт электронных изданий существенно проще с финансовой точки зрения (стоимость бумажных изданий растёт с каждым годом, требует значительно больших площадей и затрат для их хранения в фондах вуза, приобретения и учёта), необходимо разработать рациональные механизмы хранения и обработки электронных фондов на стадии проектирования витрин данных.

При проектировании структуры хранилища или витрин данных часто возникает желание использовать как можно больше агрегатов и за счёт этого повысить производительность системы. Нетрудно подсчитать, что для модели "звезда" с одиннадцатью измерениями можно построить более 11!=39916800 различных агрегированных значений, размещение которых в памяти при установлении связей с соответствующими измерениями приведет к резкому увеличению занимаемого дискового пространства и замедлению доступа к данным. Другая крайность состоит в использовании слишком малого числа агрегатов, а это может привести к необходимости выполнять агрегирование динамически, что заметно снижает эффективность запросов.

При использовании АИБС "МАРК-SQL" (ЗАО "НПО "Информ-система", Москва) формируются сводные отчёты, отражающие следующую информацию: книгообеспеченность по циклам дисциплин (гуманитарный, математический, профессиональный, специальный и факультативный), книгообеспеченность по определённой кафедре и специальности за весенний или осенний семестры с разбивкой по учебной литературе. Коэффициент книгообеспеченности по умолчанию вычисляется в соответствии с выражением (1); также отметим сложность и неравномерность времени выполнения вложенных SQL-запросов для формирования и генерации, ограниченных по структуре, отчётов (табл. 3).

Таблица 3

Время выполнения оптимизированных реляционных запросов для действующего проекта ИБС "МАРК-SQL" по формированию сводных отчётов в НИИ

Название сводного отчёта	Время выполнения OLTP-запроса, мин (БД, 120 Гб)
Книгообеспеченность кафедры	2
Общая книгообеспеченность дисциплины по семестрам	2
Книгообеспеченность специальности. Осенний семестр	3
Книгообеспеченность специальности. Весенний семестр	3
Книгообеспеченность кафедры по семестрам	4
Книгообеспеченность специальности	4
Книгообеспеченность цикла ЕСН дисциплин. Весенний семестр	11
Книгообеспеченность цикла ГСЭ дисциплин. Весенний семестр	17
Книгообеспеченность цикла ОПД дисциплин. Осенний семестр	17

Учитывая, что даже в небольшом вузе количество кафедр и специальностей измеряется десятками, а количество дисциплин сотнями, OLTP-систему для определения показателей книгообеспеченности можно использовать в режимах off-line, затратив на это десятки часов. Однако книгообеспеченность не единственный показатель деятельности библиотеки, целый спектр данных мониторинга ИБФ вуза требуется предоставить системе качества ОУ (по крайней мере ежемесячно, в частности, для определения стимулирующих надбавок работникам библиотеки в соответствии с новой системой оплаты труда – НСОТ), и, как правило, в вузе библиотека не обладает собственным серверным парком, следовательно, требуется разработать аналитические процедуры на базе технологий, адаптированных специально для данных целей, например OLAP.

Отмеченные функции АИБС могут быть дополнены при внедрении в модуль "Информационное обеспечение вуза" элементов анализа с использованием OLAP-технологий, где в качестве детальных данных будем рассматривать измерения и факты, на основании которых получим агрегированные данные (построены меры) путём суммирования числовых фактических данных по определённым измерениям. При этом время выполнения запросов и их гибкость могут быть значительно оптимизированы. Учитывая объём поставленной задачи – построение многомерной структуры БД для мониторинга информационно-библиотечного фонда (ИБФ) вуза – выполним данный процесс проектирования в четыре этапа, результаты которых объединим в гиперкуб, оптимизировав при этом степень агрегации данных.

Проектирование витрины данных "Книжный фонд". Этап I

Рассмотрим процесс проектирования витрины данных MarkSQL OLAP.mdf на основе реляционной базы данных MarkSQL.mdf, с помощью которой обеспечим оперативный учёт литературы по следующим фактам: общее количество книг (по названию), изданных автором (или авторами); количество книг (по названию), изданных автором (или авторами) по определённому типу литературы (например, методическое пособие, учебное пособие и т. д.); количество книг (по названию), изданных автором в определённом городе и определённым издательством; количество названий книг, изданных в определённом городе (или во всех) определённым издательством (или во всех); количество определённого названия книги, изданной в определённом городе определённым издательством; количество книг (в том числе и по типам), изданных в определённом городе определённым издательством (издательствами); количество книг (в т. ч. и с грифом), имеющихся в наличии в библиотеке на определённую дату издания; количество книг, выпущенных издательством на определённую дату.

Выделим для проектирования витрины данных следующие меры: количество экземпляров определённого типа литературы (по названию); количество экземпляров, изданных издательством; количество экземпляров пособий, напечатанных в городе; количество экземпляров пособий на определённую дату; количество пособий определённого заглавия; количество пособий, изданных автором (по названию).

В качестве измерений и иерархий в витрине данных при проведении многомерного анализа будем рассматривать следующие наборы данных, представленных в виде справочников: тип литературы, издательство, город издания, дата издания документа, заглавие книги, автор документа (книги), документ. Тогда витрина данных ВД "Книжный фонд" схемы "звезда" будет иметь логическую структуру, представленную на рис. 1.

В приложении Microsoft Visual Studio 2005 создадим проект служб Анализа – SSAS (Analysis Services Project, SSAS), который позволит построить OLAP-куб поверх существующей витрины данных. При заполнении витрины данных реализованы три взаимосвязанные задачи: сбор данных (Data Acquisition), очистка данных (Data Cleansing) и агрегирование данных (Data Consolidation). Под сбором данных понимается процесс, который состоит в организации передачи данных из внешних источников в ВД. Под очисткой данных – процесс модификации данных по ходу заполнения ВД: исключение нежелательных дубликатов, восстановление пропущенных данных, приведение данных к единому формату, удаление нежелательных символов (например, управляющих) и унификация типов данных, проверка на целостность. При агрегировании данных обеспечена выборка данных из транзакционной базы данных и других источников в соответствии с метаданными, поскольку агрегирование происходит в терминах бизнес-понятий.

Проектирование витрины данных "Контингент". Этап II

Следующим этапом проектирования является построение витрины данных, с помощью которой библиотекарю (для определения книгообеспеченности) или сотруднику студенческого отдела кадров можно оперативно определить контингент учащихся по следующим фактам: контингент учащихся по факультету, в том числе с учётом или без формы, курса и семестра обучения; контингент учащихся по специальности, в том числе с учётом или без формы, курса и

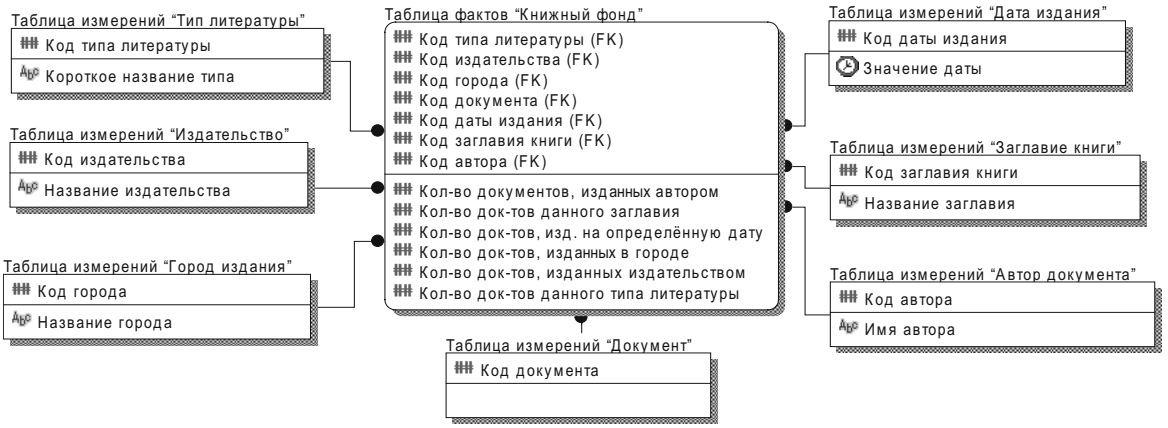


Рис. 1. Логическая структура витрины данных "Книжный фонд"

семестра обучения; контингент учащихся по кафедре, в том числе или без с учётом формы, курса и семестра обучения; контингент учащихся по группе, в том числе с учётом или без формы, курса и семестра обучения.

Соответственно для проектирования витрины данных потребуется только одна мера – количество студентов. При этом отметим, что заполнение витрины данных "Контингент" может происходить, минуя источники АИБС. Если вуз не обладает выделенной системой сопровождения контингента, то данная задача может быть решена в АИБС "MAPK-SQL", в которой имеются встроенные источники для реализации данных функций.

В качестве измерений и иерархий в витрине данных будем рассматривать такие наборы данных, как факультет, специальность, кафедра, группа, форма обучения, курс обучения, семестр обучения.

В результате проектирования построена витрина данных "Контингент" схемы "снежинка", логическая структура которой представлена на рис. 2.

Проектирование витрины данных "Дисциплины". Этап III

Следующий этап проектирования – построение витрины данных, которая обеспечит связь между группами и имеющимися дисциплинами и позволит как сотруднику библиотеки, так и сотрудникам кафедр и деканатов анализировать следующие факты: какие дисциплины преподаются в группах и их количество; какие дисциплины преподаются на кафедре (специальности, факультете) и их количество; какие дисциплины

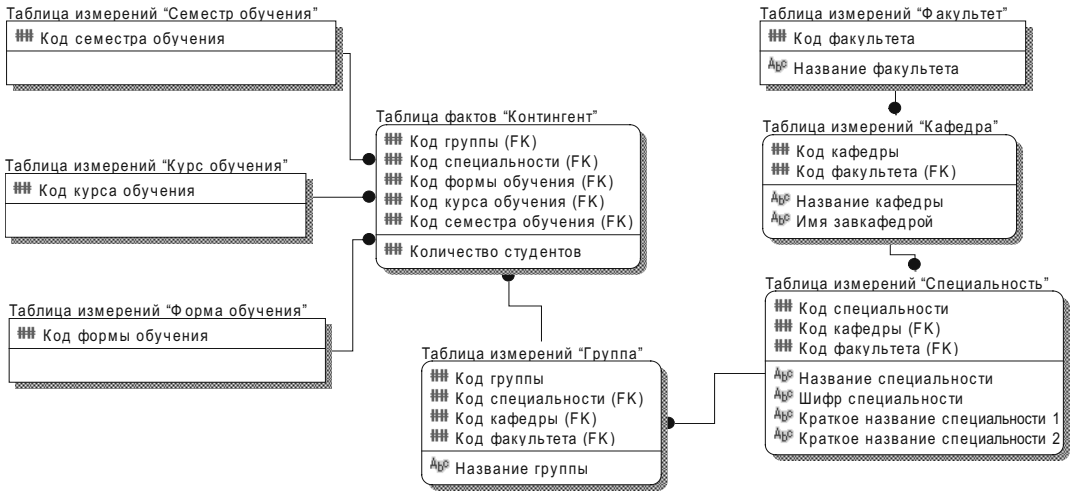


Рис. 2. Логическая структура витрины данных "Контингент"

преподаются в вузе и количество дисциплин по каждому циклу дисциплин.

С учётом этого выделим следующую меру – количество дисциплин. На данном этапе проектирования эта мера не может быть вычислена напрямую или загружена в витрину данных из OLTP-системы MarkSQL. Поэтому меру "количество" добавим на уровне OLAP-куба, который будет построен поверх этой витрины данных.

В качестве измерений и иерархий в витрине данных при проведении многомерного анализа будем рассматривать следующие наборы данных, представленных в виде справочников: факультет, кафедра, специальность, группа, цикл дисциплин, дисциплина.

В результате проектирования построена витрина данных "Дисциплины" схемы "снежинка", логическая структура которой представлена на рис. 3.

В созданном проекте служб анализа построим OLAP-куб поверх витрины данных, а на этапе конструирования куба создадим меру *количество* (Число Fact Grp Discp).

Проектирование витрины агрегированных данных. Этап IV

Следующим этапом проектирования становится построение витрины данных, которая обеспечит возможность сотруднику библиотеки анализировать такие факты, как: количество экземпляров книг, выделяемых группе по определённой дисциплине (циклу); количество экземпляров литературы, выделяемых на определённую специальность (кафедру).

Для анализа по выделенным фактам нам потребуется только одна мера – количество экземпляров литературы, информация по которой содержится в реляционной БД (MarkSQL.mdf) и вычисляется через агрегатную функцию.

В качестве измерений и иерархий в витрине данных при проведении многомерного анализа будем рассматривать такие наборы данных, как факультет, кафедра, специальность, группа, цикл дисциплин, дисциплина, документ.

В результате проектирования построена витрина данных "Количество экземпляров книг – Дисциплины" схемы "снежинка", логическая структура которой представлена на рис. 4.

Объединение этапов проектирования в один AS-куб

В результате рассмотренных этапов проектирования была разработана единая структура витрины данных (рис. 5), содержащей одиннадцать измерений, четыре из которых имеют вложенные уровни иерархии. На основе данной ВД "ИБФ вуза" были построены четыре OLAP-куба, обеспечивающие оперативный аналитический учёт по ранее выделенным фактам.

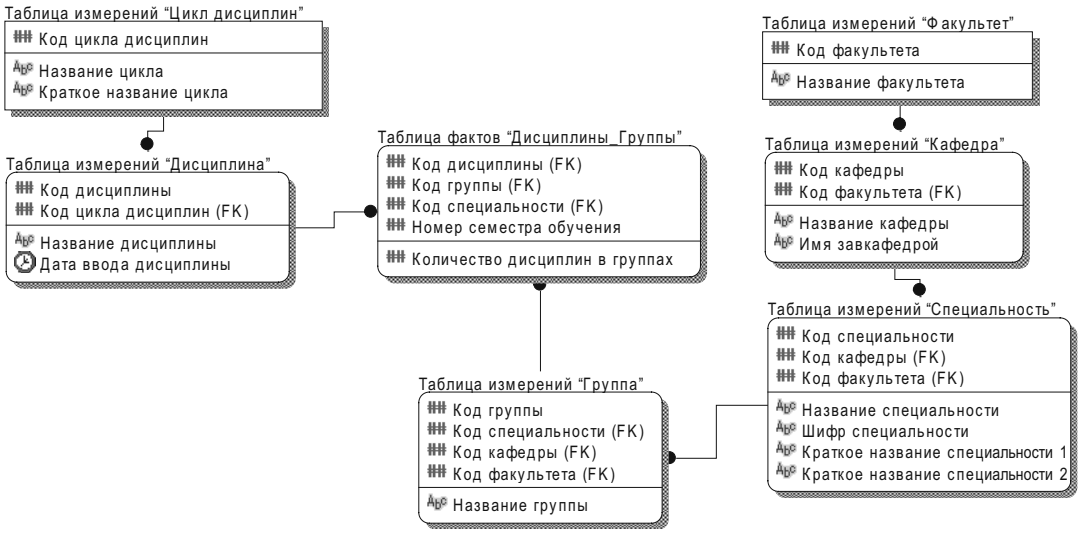


Рис. 3. Логическая структура витрины данных "Дисциплины"

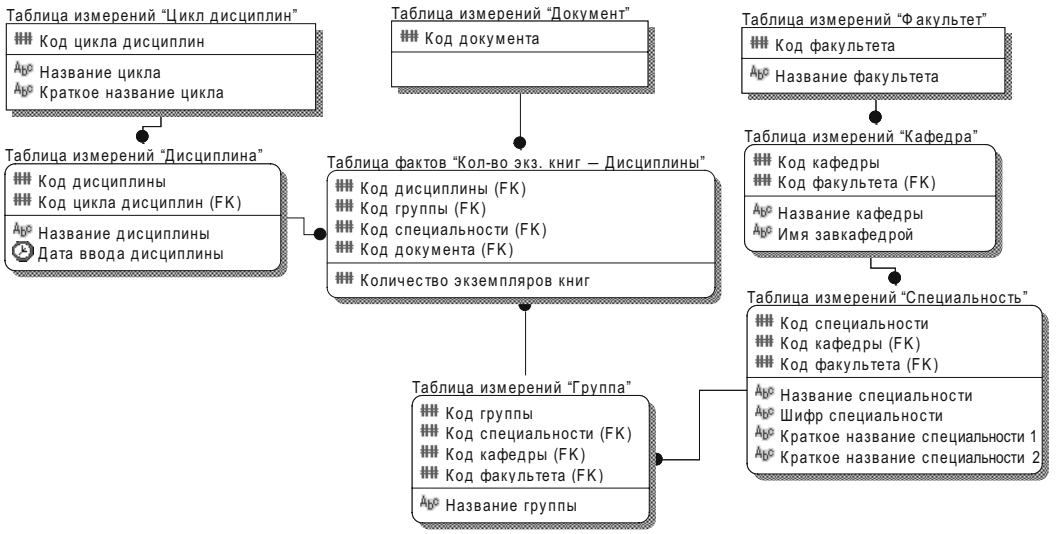


Рис. 4. Логическая структура витрины данных "Количество экземпляров книг – Дисциплины"

В результате в качестве измерений и их иерархий в витрине данных "ИБФ вуза" (рис. 5 и 6) выделены следующие наборы данных: структурная единица с иерархиями *вуз*, *факультет*, *кафедра*, *специальность*, *группа*; дисциплины с иерархиями *учебный план*, *цикл дисциплин*, *дисциплина*; время обучения с иерархиями *курс обучения*, *семестр*; форма обучения; наименование издания; дата издания с иерархиями *месяц издания*, *год издания*; издательство; место издания; автор издания; тип литературы.

В качестве мер на уровне витрины данных (см. рис. 5 и 6) содержатся следующие агрегатные значения: количество экземпляров определённого типа литературы (по названию) (таблица FactDocAuthor); количество экземпляров, изданных издательством (таблица FactDocAuthor); количество экземпляров пособий, напечатанных в городе (таблица FactDocAuthor); количество экземпляров пособий на определённую дату (таблица FactDocAuthor); количество пособий определённого заглавия (таблица FactDocAu-

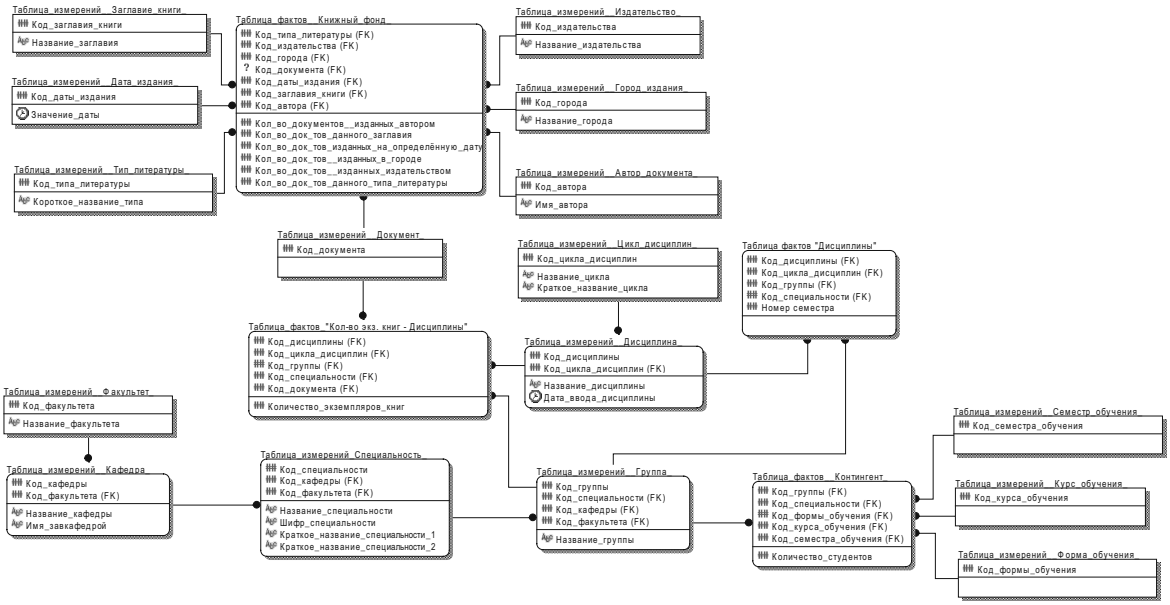


Рис. 5. Логическая структура витрины данных "ИБФ вуза"

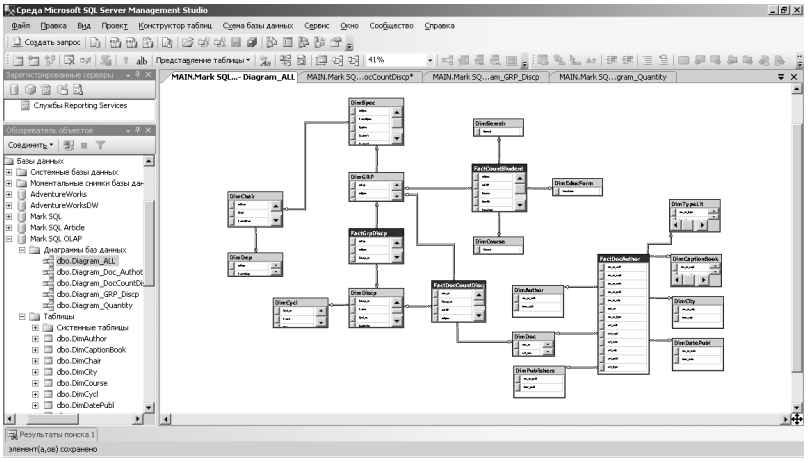


Рис. 6. Физическая структура витрины данных "ИБФ вуза"

thor); количество пособий, изданных автором (по названию) (таблица FactDocAuthor); количество студентов (таблица FactCountStudent); количество экземпляров литературы (таблица FactDocCountDiscp).

Степень агрегации данных куба определяется выражением $\alpha = \frac{a}{a^*}$, где a – реальное количество агрегированных значений показателей; a^* – максимально возможное количество агрегатных значений исходных данных куба.

В данной статье для получения OLAP-куба при определённых выше мерах степень агрегации равна:

$$\alpha = \frac{\sum_{k=1}^{C_m^k}\left(\prod_{i=1}^{m-k} n_i\right)}{\prod_{i=1}^{m}(n_i + 1) - \prod_{i=1}^{m} n_i} = 0,01,$$

где n_i – мощность i-го множества, участвовавшего в формировании мер многомерного куба, где $m = 11$.

При данной степени агрегации 0,01 размер многомерной БД (75 Гб) меньше реляционной БД (120 Гб), что позволяет использовать MOLAP-архитектуру.

Так же как и в предыдущих случаях, в приложении Microsoft Visual Studio 2005 в созданном проекте служб анализа построен OLAP-куб "ИБФ вуза" поверх витрины данных, которая является многомерным хранилищем информации (рис. 7). На этапе конструирования куба созданы следующие дополнительные меры: *количество* наименований книг, читаемых по дисциплине (Число Fact Doc Author); *количество* семестров, в которые читается дисциплина по группе (Число Fact Grp Discp), т. е. в одном или двух семестрах; *количество* групп (*Число Fact Count Student*); *количество* дисциплин, в которых данная книга используется и рекомендуется для студентов определённой специальности (Число FactDocCountDiscp).

В результате на уровне куба построены группы мер, обеспечивающие необходимую связь между измерениями и иерархиями измерений при анализе мер.

Чтобы обеспечить максимальную скорость выполнения запросов многомерной обработки данных, в качестве варианта хранения выбрана архитектура MOLAP (Multidimensional OLAP), которая является оптимальным вариантом в ситуациях, когда данные изменяются редко (ежемесячно), а также в режимах разработки и тестирования. Отметим, что в многомерных OLAP-системах структура AS-куба содержит предварительно обработанные агрегаты, копии листовых значений куба хранятся также в многомерной базе данных.

Коэффициент книгообеспеченности в многомерной структуре данных

На уровне AS-куба "ИБФ вуза" создадим вычисляемую меру ***K AVG Book***, которая будет находить значение коэффициента книгообеспеченности в соответствии с выражением (5):

K AVG Book = Case

When *[Measures].[Cnt Doc]* < *[Measures].[Quantity])*

Then *([Measures].[Cnt Doc] / [Measures].[Quantity]) /*

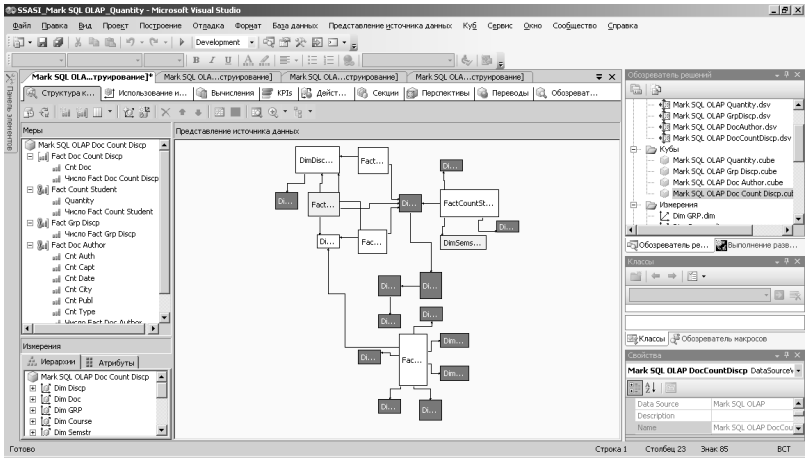


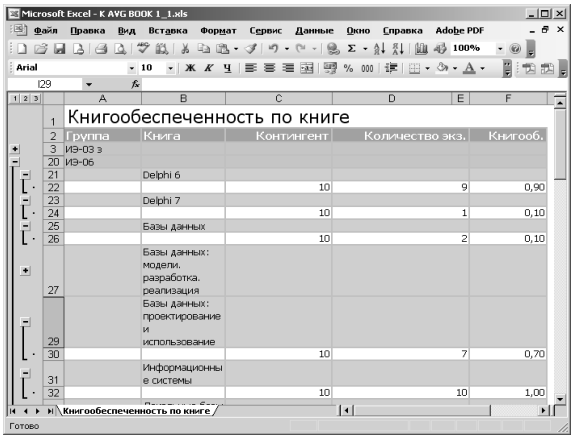
Рис. 7. Физическая структура AS-куба “ИБФ вуза”

[Measures].[Число Fact Doc Author]
When *[DimTypeLit].[Term_type].*
MemeberValue = ‘ЭЛУ’ or [Measures].
[Cnt Doc] >= [Measures].[Quantity])
Then *1/[Measures].[Число Fact Doc Author]*
End

Сформируем шаблон MDX-запроса, который обеспечит расчёт книгообеспеченности по книге для каждой группы по параметрам: дисциплина и семестр (осенний или весенний):

```
SELECT NON EMPTY
{ [Measures].[Cnt Doc], [Measures].[K AVG BOOK],
[Measures].[Quantity] } ON COLUMNS,
NON EMPTY{ ([Dim GRP].[Name Grp].[Name Grp].
ALLMEMBERS *
[Dim Caption Book].[Dim Caption Book].[Dim Cap-
tion Book].ALLMEMBERS ) }
DIMENSION PROPERTIES MEMBER_CAPTION,
MEMBER_UNIQUE_NAME ON ROWS
FROM ( SELECT ( STRTOSET(@DimSemstrDim-
Semstr, CONSTRAINED) ) ON COLUMNS
FROM ( SELECT ( STRTOSET(@DimDiscpName,
CONSTRAINED) ) ON COLUMNS
FROM [Mark SQL OLAP Doc Count Discp]))
WHERE ( IIF( STRTOSET(@DimDiscpName,
CONSTRAINED).Count = 1,
STRTOSET(@DimDiscpName, CONSTRAINED),
[Dim Discp].[Name].currentmember ),
IIF( STRTOSET(@DimSemstrDimSemstr,
CONSTRAINED).Count = 1,
STRTOSET(@DimSemstrDimSemstr,
CONSTRAINED),
[Dim Semstr].[Dim Semstr].currentmember ) ) CELL
PROPERTIES VALUE,
BACK_COLOR, FORE_COLOR, FORMATTED_
VALUE, FORMAT_STRING,
FONT_NAME, FONT_SIZE, FONT_FLAGS
```

Проект сервера отчётов позволяет данный отчёт развернуть на сервере отчётов и доставить в необходимом формате (*.xls, *.pdf и др.) бизнес-аналитику (рис. 8). Учитывая, что используемый нами пакет Microsoft Visual Studio 2005 уже обеспечивает суммирование агрегированных данных по строкам и столбцам куба, поэтому созданная ранее вычисляемая мера ***K AVG Book*** также подходит для вычисления значения показателя книгообеспеченности в соответствии с формулой (3) и (4) соответственно.



	A	B	C	D	E	F
1	Книгообеспеченность по книге					
2	Группа	Книга	Контингент	Количество экз.		Книгооб.
3	ИЭ-03 з					
20	ИЭ-06					
21		Delphi 6				
22			10	9		0,90
23		Delphi 7				
24			10	1		0,10
25		Базы данных				
26			10	2		0,10
27		Базы данных: модели, разработка, реализация				
29		Базы данных: проектирование и использование				
30			10	7		0,70
31		Информационные системы				
32			10	10		1,00

Рис. 8. Книгообеспеченность по книге

С целью формирования отчётов по расчёту книгообеспеченности по распределённой литературе нам пригодится шаблон MDX-запроса, сформированный ранее.

В представленном отчёте выполнен расчёт книгообеспеченности по учебной литературе "Информатика и информационные технологии" для группы МЦ-08 за осенний семестр (рис. 9) и за два семестра (рис. 10), относящейся к дисциплине "Информатика".

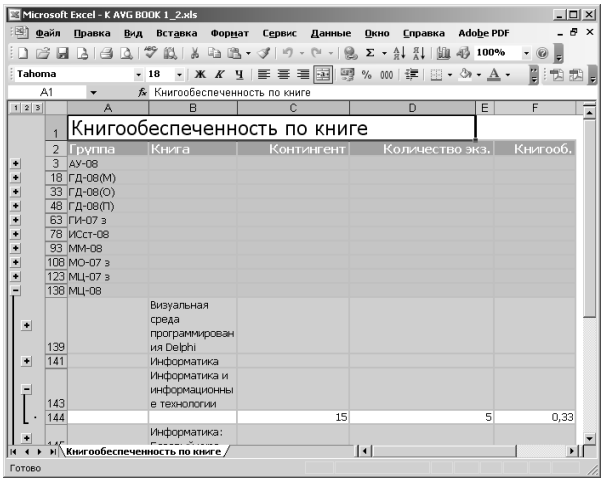


Рис. 9. Книгообеспеченность по учебной литературе за осенний семестр по дисциплине "Информатика"

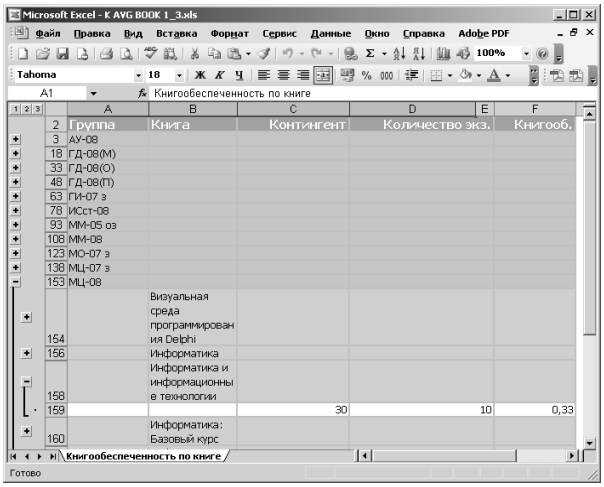


Рис. 10. Книгообеспеченность по учебной литературе, распределённой по двум семестрам

Для реализации данной формулы на уровне AS-куба "ИБФ вуза" создадим две вычисляемые меры: ***K AVG***, которая вычисляет среднее значение книгообеспеченности по дисциплине за два семестра, и ***K AVG Discp***, которая находит значение коэффициента книгообеспеченности в соответствии с формулой (4), т. е. ***K AVG*** делим на количество наименований книг, используемых и рекомендуемых для данной дисциплины:

K AVG = *([Measures].[Cnt Doc] / ([Measures].[Quantity] * [Measures].[Число Fact Grp Discp]))* (6)

K AVG Discp = *[Measures].[K AVG] / ([Dim Doc].[Dim Doc].CURRENTMEMBER, [Measures].[**Число Fact Doc** Author])* (7)

Сформируем шаблон MDX-запроса, который обеспечит расчёт книгообеспеченности по дисциплине для каждой специальности по параметрам как цикл дисциплины и тип литературы:

```
SELECT NON EMPTY { [Measures].
[K AVG DISCP] } ON COLUMNS,
NON EMPTY { ([Dim Discp].[Name].[Name].
ALLMEMBERS *
[Dim GRP].[Custom1].[Custom1].ALLMEMBERS) }
DIMENSION PROPERTIES MEMBER_CAPTION,
MEMBER_UNIQUE_NAME ON ROWS
FROM (
SELECT (STRTOSET(@DimTypeLitTermType,
CONSTRAINED) ) ON COLUMNS
FROM (
SELECT ( STRTOSET(@DimDiscpDimCyclName,
CONSTRAINED) ) ON COLUMNS
FROM [Mark SQL OLAP Doc Count
Discp]))
WHERE (
IIF( STRTOSET(@DimDiscpDimCyclName,
CONSTRAINED).Count = 1,
STRTOSET(@DimDiscpDimCyclName,
CONSTRAINED), [Dim Discp].[Dim Cycl - Name].
currentmember ),
IIF( STRTOSET(@DimTypeLitTermType,
CONSTRAINED).Count = 1,
```

STRTOSET(@DimTypeLitTermType, CONSTRAINED), [Dim Type Lit].[Term Type].currentmember))

CELL PROPERTIES VALUE, BACK_COLOR, FORE_COLOR, FORMATTED_VALUE, FORMAT_STRING,

FONT_NAME, FONT_SIZE, FONT_FLAGS

В табл. 4 приведена сравнительная характеристика по времени генерации сводных отчётов, формируемых в ИС "ИБФ вуза" и в ИБС "MAPK SQL" соответственно.

Итак, было проведено проектирование многомерной структуры данных схемы «снежинка», включающей 11 измерений и 4 таблицы фактов, реализующих анализ по 8 мерам. На основе ВД был построен AS-куб архитектуры MOLAP, где на этапе конструирования куба были добавлены 4 меры.

По результатам сравнительного анализа времени выполнения запросов для генерации сводных отчётов по таким показателям, как, например, книгообеспеченность, можно говорить о значительном повышении (для данного примера в 6–10 раз для одного многомерного запроса) производительности и эффективности систем поддержки принятия решения на базе хранилищ данных.

В заключение хотелось бы отметить, что внедрение системы внутреннего мониторинга информационно-образовательных ресурсов и данный способ организации учебного процесса позволит вузу выйти на новый уровень повышения качества образования и тем самым гарантирует потребителям высокий международный уровень компетенций выпускников.

Таблица 4

Сравнительная характеристика производительности запросов к многомерной БД и реляционной БД по выполнению сводных отчётов

Название сводного отчёта	Время выполнения запроса, мин	
	к РБД, 120 Гб	к МБД, 75 Гб
Книгообеспеченность кафедры	2	0,25
Общая книгообеспеченность дисциплины по семестрам	2	0,25
Книгообеспеченность специальности. Осенний семестр	3	0,4
Книгообеспеченность специальности. Весенний семестр	3	0,4
Книгообеспеченность кафедры по семестрам	4	0,6
Книгообеспеченность специальности.	4	0,6
Книгообеспеченность цикла ЕСН дисциплин. Весенний семестр	11	1,5
Книгообеспеченность цикла ГСЭ дисциплин. Весенний семестр	17	4,5
Книгообеспеченность цикла ОПД дисциплин. Осенний семестр	17	4,5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Полл Р., Бокхорст П.** Измерение качества работы: Международное руководство по измерению эффективности работы университетских и других научных библиотек / Пер. с англ. Н.В. Соколовой. Под. ред. О.Ю. Устинова. М.: Логос. 2002. 152 с.

2. **Moore N.** Measuring the Performance of Public Libraries: a Draft Manual. Paris: General Information Programme and UNISIST, UNESCO. 1989.

3. International Standards Organisation ISO 11620 Information and Documentation Library Performance Indicators Draft. ISO/FDI1620 [Electronic source]. 1997.

4. **Бочаров Б.П., Воеводина М.Ю.** Определение рациональной стратегии автоматизированного управления современной библиотекой вуза // Культура народов Причерноморья / Межвузовский центр "Крым". Симферополь. 2006. № 94. С. 39–51.

5. **Бочаров Б.П.** Формирование векторного критерия оценки качества автоматизированного управления современной библиотекой // Культура народов Причерноморья / Межвузовский центр "Крым". Симферополь, 2005. Т. 1. № 60. С. 31–35.

6. **Рябченко И.Н., Бочаров Б.П.** Применение статистических методов при формировании векторного критерия оценки качества управления современной библиотекой. // Вісник книжкової палати. 2005. № 4. С. 24–27 .

7. **Браст Эндрю Дж., Форте Стивен.** Разработка приложений на основе Microsoft SQL Server 2005. Мастер-класс [Текст]: Пер. с англ. М.: Русская Редакция. 2007. 880 с.

8. **Ларсон Б.** Разработка бизнес-аналитики в Microsoft SQL Server 2005 [Текст]. СПб.: Питер. 2008. 684 с.

9. **Фомичева С.Г.** Обработка больших массивов данных [Текст]: Учеб. пособие / Норильский индустр. ин-т. Норильск. 2009. 325 с.

Ю.Б. Сениченков

ДЕСЯТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ-2009”, ИЛИ ЗАЧЕМ В НАШЕЙ СТРАНЕ ПРОВОДИТЬ КОНФЕРЕНЦИИ

Не проводят конференции?
Да этого не может быть,
потому что не может быть никогда!

В июне 2009 года состоялась десятая, юбилейная, конференция “Компьютерное моделирование”. Конференция проходила на факультете технической кибернетики, продолжалась три дня, и, если взглянуть со стороны, в ней не было ничего необычного; около пятидесяти участников работали три дня: доклады, конкурс студенческих работ, приватные беседы. Спонсоров, как всегда, не нашлось, помогли лишь “соратники по борьбе”: дирекция сайта Expotenta.ru, издательства “БХВ” и “Наука”, Международная ассоциация CoLoS; с миру по нитке, победителям студенческого конкурса на подарки. Иностранные участники прибыли в основном из стран ближнего зарубежья, но были и гости из Германии, Англии. Можно сказать, международная конференция состоялась.

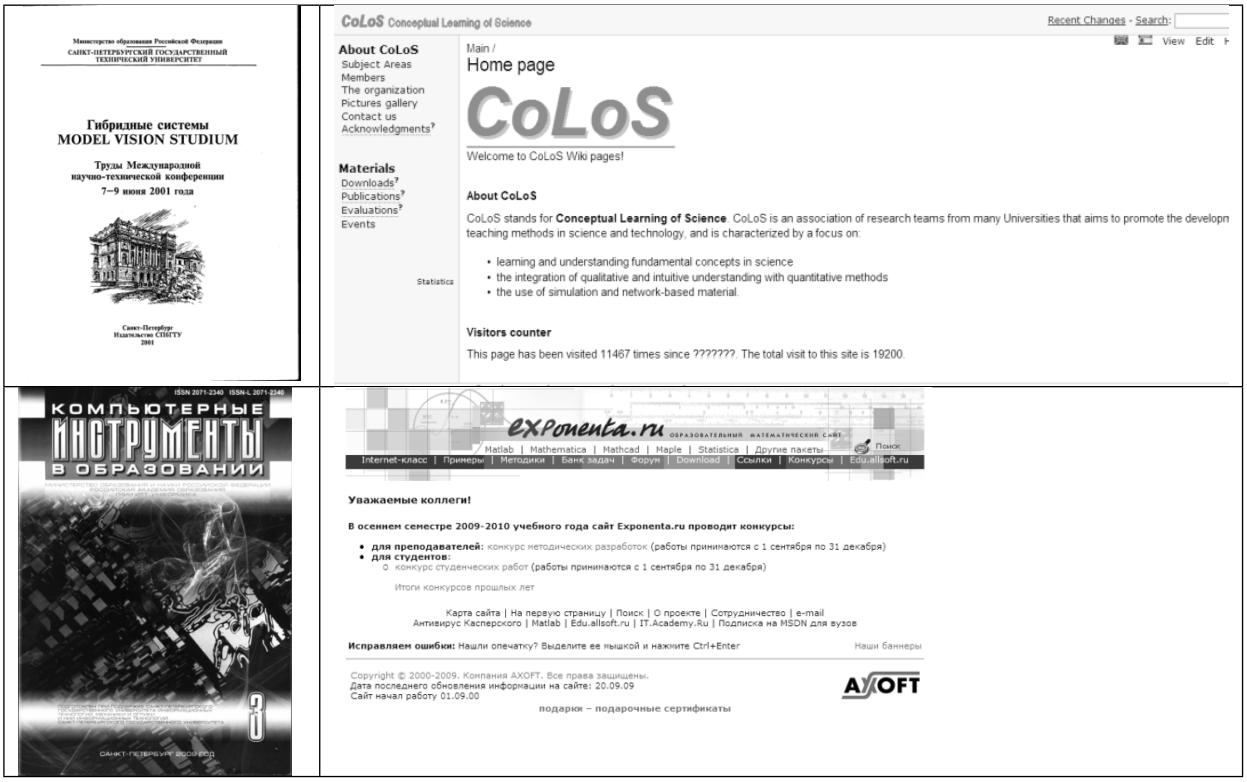
Немногочисленная и практически неизвестная в мире конференция – зачем она?

Тезис первый. Научный мир открыт, можно участвовать в любых конференциях, если есть что представить на обсуждение. Можно не только участвовать, но и организовывать свои секции, “присоединяясь” практически к любой конференции. В нашей же стране всё препятствует проведению конференций – малочисленность и разрозненность научных школ, отсутствие спонсоров, дороговизна аренды помещений и гостиниц. И все-таки российские конференции организовывать нужно.

За последние десять лет стало особенно очевидным, что российские конференции – это всего лишь конференции, проводимые на территории России. И сравнивают их с другими по обычным меркам – тематика, состав, комфортность работы и привлекательность культурной программы, стоимость.

Зарубежные университеты, заинтересованные в научном росте своих сотрудников, и, следовательно, в росте собственного престижа, выделяют преподавателям средства на посещение конференций. У нас даже мечтать об этом не приходится.

Научные конференции принято поддерживать грантами, и их организаторы могут себе позволить принимать только интересные работы. Такие конференции обычно специализированы, малочисленны, элитарны и чрезвычайно престижны. Это их достоинства, но их же можно считать и недостатками. Поэтому существует другой подход к проведению конференций – на основании тезисов докладов – предварительное рецензирование и отбор сведены к минимуму, и на первый план опять, как и в старые добрые времена, выходит общение и дискуссия. Среди участников таких конференций чрезвычайно много молодежи. Ведущие ученые приезжают туда прочесть лекции о своих достижениях и послушать молодежь. Примером может служить конференция ENUMATH 2009 со специальной секцией “Numerical Linear Algebra”, организованной членом-корреспондентом Е.Е. Тыртышниковым.



В левом верхнем углу – первый сборник трудов конференции. Первая же конференция состоялась годом раньше. Это была совместная конференция, в которой приняли участие члены международной ассоциации CoLoS, авторы журнала "Компьютерные инструменты в образовании", преподаватели СПбГУ и СПбГТУ, занимающиеся компьютерным моделированием. С тех пор и дружим. Позже к нашей компании присоединились сотрудники образовательного сайта Exponenta.ru.

Наряду с научными конференциями в мире существуют многочисленные "коммерческие", или, скажем мягче, "квалификационные" конференции: достаточно высокий организационный взнос гарантирует участие и публикацию в толстой книге "Advanses in..." при минимальных требованиях к научной новизне материала. Такой подход можно осуждать, но ведь и диссертационная работа – это научно-квалификационная работа, а квалификацию необходимо постоянно подтверждать.

Насколько широко наши ученые представлены на зарубежных конференциях? Просмотрите списки участников – соотечественников много, но в основном это бывшие соотечественники.

И все же ориентироваться только на западные конференции не следует – собственные конференции тоже нужны. Отечественная научная элита – это краеугольный камень безопасности страны, и если ей нужны конференции, а они нужны – пусть они будут. И было бы хорошо, если бы и мы могли проводить престижные и в хорошем смысле привлекательные конференции.

Тезис второй. Научная Россия сейчас – это, к сожалению, только островок в мировой науке, но он должен быть известен и посещаем. И это дело государево.

Конференции чаще всего удаются, если тематика важна и актуальна. Наша конференция посвящена компьютерному моделированию сложных динамических систем.

Простейшей классификацией математических моделей может служить классификация на основе используемых уравнений. Наша кон-

ференция ориентирована на модели, в основе которых лежат обыкновенные дифференциальные уравнения с начальными условиями в форме Коши – это классические динамические и гибридные системы (динамические системы с разрывными правыми частями). На конференции обсуждаются как сами модели, так их программные реализации.

С момента введения термина "вычислительный эксперимент" академиком А.А. Самарским методика проведения вычислительного эксперимента претерпела большие изменения, именно поэтому мы сейчас говорим о компьютерном моделировании и его программном обеспечении. Стоит выделить две составляющие программного обеспечения – пакеты для моделирования и проведения вычислительного эксперимента и пакеты для проектирования на основе моделирования. И те и другие обсуждаются на конференции.

Аналога нашей конференции в России, видимо, нет, а в Европе существует целая структура, поддерживающая компьютерное моделирование: ежегодная конференция MATHMOD, журнал SNE (Simulation news Europe) и европейское общество EUROSIM (Federation of European Simulation Societies).

Среди участников конференции MATHMOD россияне встречаются. Читатели журнала SNE знают о трех российских пакетах: AnyLogic, MvStudium, MBTY. В европейском обществе EUROSIM нас нет, и это неудивительно, хотя и стыдно. Заметим, что наша страна занимает далеко не последнее место в области моделирования сложных динамических систем, и в частности наш университет отмечают как один из ведущих в этой области.

Мне бы хотелось рассматривать нашу конференцию как прообраз российского общества "Компьютерное моделирование" – с точки зрения научных результатов основания для этого есть, чего не скажешь об организационных возможностях.

Тезис третий. Фундаментальные научные направления и компьютерное моделирование в частности *нужно пропагандировать*.

Пропаганда – одна из важнейших форм научной деятельности. В свое время активно пропагандировал вычислительный эксперимент академик А.А. Самарский. В стране проводились конференции, семинары, выпускалось много литературы, как специальной, так и научно-популярной. Это все в прошлом. В настоящем возросший в начале века интерес к литературе по моделированию со стороны издательств погасил кризис. Попытка издавать современный журнал (Exponenta.Pro) провалилась из-за финансовых проблем. Наша конференция, несмотря на "международность", по сути, осталась местечковой (по организационным причинам), а попытки организовать общество моделирования не встречают нужной государственной поддержки. Но кое-что всё-таки делается.

Огромную работу проводит образовательный математический сайт Exponenta.ru :

- Конкурс студенческих работ, связанных с использованием математических пакетов. Этот ежегодный конкурс достаточно привлекателен, участников много, работы интересные. Однако есть одна настораживающая деталь – студенты и преподаватели в основном используют пакет MathCAD и даже электронные таблицы MS Excel для моделирования!
- Конкурс на лучшую методическую разработку преподавателей. Заметим, что преподаватели нашего университета почему-то в этом конкурсе не участвуют.
- Конкурс по моделированию. Этот конкурс проводит наш университет совместно с образовательным сайтом.

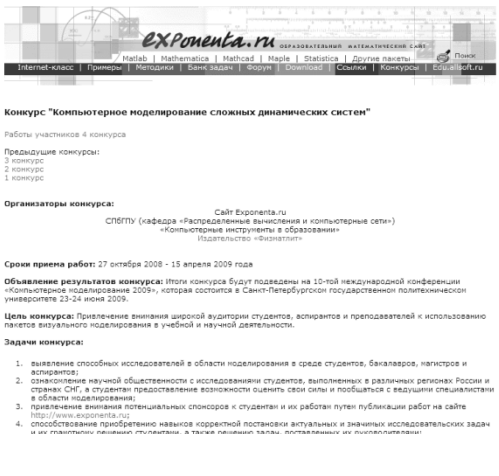
Использованию компьютерного моделирования в университетском и школьном образовании посвящены многие статьи журнала "Компьютерные инструменты в образовании". Сложилась хорошая традиция публиковать на его страницах доклады участников нашей конференции. Журнал уникальный, мирового уровня, но у него те же проблемы, что и у нашей конференции – государево око его не видит и деньгами не помогает!

Попытка создать российский журнал, посвящённый компьютерному моделированию, закончилась неудачно. Редакция объяснила закрытие журнала финансовыми трудностями. Со статьями для журнала проблем не было, значит, были проблемы с читателями? Да, были. Как оказалось, компьютерное моделирование ещё не стало широко распространенной технологией исследования и проектирования. И не станет, если государство не будет помогать пропагандировать это направление. На нашей конференции выступали: Wolfgang Christian – автор знаменитых лабораторных работ по физике "Physlets"; Ivar Jacobson – один из авторов языка UML. И оба были чрезвычайно удивлены, что на их докладах присутствовали не более пятидесяти слушателей. И вниманием со стороны государства и промышленности мы не избалованы – однажды, правда, мы получили грант РФФИ, одну из конференций поддержала компания INTEL, но разве можно это сравнить с поддержкой той же конференции MATHMOD?

Привлекательность конференции определяется еще и именами её участников. Еще несколько лет назад дополнительным стимулом участвовать в наших конференциях для зарубежных ученых было желание проверить, а действительно ли у русских до сих пор ещё медведи по Невскому ходят? Выяснилось, что медведей нет, да еще и всё дорого. Экономика взяла свое, и более привлекательными остались конференции в Европе. Это подтверждает и опыт проведения "коммерческих конференций" общества WSES, организаторами которых являются греки – искусству продавать что-либо у них можно поучиться. Я познакомился с организаторами этого "международного общества", когда они только начинали проводить свои конференции. В первом сборнике были имена только греческих авторов, и он ничем не отличался от сборников трудов конференций, проводимых, например, в нашем университете. Характерная деталь, подчеркивающая, как вовлекаются учёные в такого сорта общества. Неожиданно для себя я оказался членом организационного комитета конференции "Applied and Theoretical Mathematics" – правда, я значусь там югославом и зовут меня Yuri Senich (копируя фамилию, авторы объявления выделили только часть фамилии). Я воспользовался этим и предложил провести кон-

ференцию у нас, в Санкт-Петербурге. Греки все посчитали и вежливо отказали. Кстати, они не провели практически ни одной конференции на территории бывших социалистических стран.

Пропаганда компьютерного моделирования нужна не только науке, но и производству. Я искренне завидую организаторам конференций общества SIAM, на одной из которых мне удалось побывать благодаря тому, что наша страна все ещё в списке слаборазвитых или развивающихся стран, не помню точно. Благодаря этому списку я получил от организаторов деньги на поездку. На этой конференции много молодёжи. Сколько спонсоров и какие спонсоры у этой конференции! Ведущие фирмы мира. Все секции конференции (а их было около десяти, и конференция продолжалась неделю) начинались с докладов представителей промышленности – а те начинали доклады со слов “Молодые люди! Конечно, вы можете пойти работать в универ-



Конкурс “Компьютерное моделирование сложных динамических систем”

Цель конкурса: Привлечение внимания широкой аудитории студентов, аспирантов и преподавателей к использованию пакетов визуального моделирования в учебной и научной деятельности.

Задачи конкурса:

выявление способных исследователей в области моделирования в среде студентов, бакалавров, магистров и аспирантов;

ознакомление научной общественности с исследованиями студентов, выполненными в различных регионах России и странах СНГ, а студентам – предоставление возможности оценить свои силы и пообщаться с ведущими специалистами в области моделирования;

привлечение внимания потенциальных спонсоров к студентам и их работам путем публикации работ на сайте http://www.exponenta.ru;

способствование приобретению навыков корректной постановки актуальных и значимых исследовательских задач и их грамотному решению студентами, а также решению задач, поставленных их руководителями;

способствование углубленному освоению студентами пакетов визуального моделирования и их широкому применению в учебной и исследовательской практике.

На конкурс принимаются работы:

- История компьютерного моделирования в России (статья).
- Инструменты визуального моделирования сложных динамических систем (реферат).
- Компьютерные модели сложных динамических систем (статья).
- План-проспект книги, посвященной визуальному моделированию сложных динамических систем.
- Мой личный опыт использования пакетов моделирования и создания компьютерных моделей (доклад на конференции студентов или аспирантов).

Объявления о конкурсах, проводимых образовательным сайтом **Exponenta.ru**

ситет, но разве материальные условия преподавателя сравнимы с материальными условиями сотрудника нашей корпорации?..". Найти спонсоров в нашей стране, на "наших" предприятиях INTEL, MOTOROLLA, SUN успеха не имели. Правда, нижегородское отделение фирмы INTEL выделило нам однажды деньги на организацию специальной секции "Использование компьютерных технологий в образовании". Спасибо, INTEL!

Тезис четвертый. Пропагандировать компьютерное моделирование нужно прежде всего среди студентов.

Интерес к моделированию, особенно к проектированию на базе моделирования, растёт во всём мире. Фактически только сейчас созрели условия для действительно широкого применения моделирования на производстве. Однако на предприятиях как среди руководителей, так и среди исполнителей ещё господствует мнение, что проектировать можно по старинке, не прибегая к моделированию. Сегодняшние студенты уже подготовлены к использованию компьютерных технологий, они их не боятся в отличие от современных инженеров, и надо любыми средствами помогать им. На нашей конференции мы организовали специальную секцию для студентов и аспирантов "Компьютерное моделирование" и конкурс студенческих работ. На мой взгляд, это самая интересная секция нашей конференции.

Вместо заключения. Благодарю редакцию журнала НТВ за интерес к нашей конференции и предоставленную возможность опубликовать несколько докладов последней юбилейной конференции. Для публикации были отобраны доклады как "взрослые", так и "детские", студенческие.

УДК 519.7

Ю.Б. Колесов

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОДХОДА MVSTUDIUM

Компонентное моделирование физических систем обладает рядом особенностей, обусловленных наличием в них ненаправленных связей [1]. Основная проблема моделирования с ненаправленными связями заключается в невозможности покомпонентного анализа систем уравнений. Поэтому анализ и преобразование к вычислимой форме можно проводить только для совокупной системы уравнений всей модели в целом. Подход MvStudium к описанию непрерывной составляющей поведения физических систем практически совпадает с подходом языка Modelica [2]. Однако для описания гибридных систем в MvStudium используется расширение диаграммы состояний UML – карта поведения, которая позволяет описывать дискретные составляющие поведения более удобным и стандартным способом. Используемые элементы языка UML и отличия карты поведения от диаграммы состояний подробно рассмотрены в [3]. Отметим, что использование карт поведения в моделях физических систем приводит к необходимости проведения анализа и преобразования уравнений на стадии выполнения модели (Runtime-анализ), в то время как подход Modelica предполагает выполнение этих действий на этапе компиляции. Задача Runtime-анализа была успешно решена, что позволило, например, использовать систему моделирования MvStudium 6 для разработки моделей физических систем, работающих в режиме реального времени в тренажерах.

Рассмотрим подход MvStudium на примере моделей нескольких характерных физических систем – механических и электрических. Эти примеры намеренно взяты из описания языка Modelica, чтобы показать сходство и различие подходов.

Модель системы управления вентилятором

Вентилятор в нашей модели представляет совокупность пропеллера *P*, электродвигателя постоянного тока *M* и блока управления *C* (рис. 1).

Управляющее воздействие *U* и сигнал датчика угловой скорости ω можно с уверенностью считать направленными внешними переменными – входом и выходом соответственно. Если блок управления имеет резерв мощности, то управляющее напряжение *V* также можно считать направленным от блока управления к электромотору и полагать, что электродвигатель не влияет на блок управления. Но вот соединение электродвигателя и вентилятора через жесткий вал никак нельзя описать с помощью направленных связей: пропеллер влияет на электродвигатель, а электродвигатель влияет на пропеллер. Поэтому будем полагать, что электродвигатель и пропеллер имеют внешние переменные F типа Flange (фланец) со стереотипом "коннектор" с компонентами Phi и T, которые имеют стереотипы "контакт" и "поток" соответственно.

```
type Flange is -- фланец
  connector
    contact Phi: Angle;
    flow T: Torque;
  end connector;
```

В этом определении типа и далее в модели мы будем использовать так называемые "различимые" типы, которые получаются из базового типа просто переименованием, отражающим прикладной смысл (система MvStudium не обрабатывает указания единиц измерения).

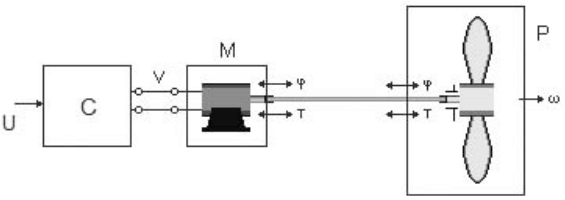


Рис. 1. Компоненты вентилятора

```
type Angle is double; -- угол (рад)
type Torque is double; -- момент (н*м)
type Voltage is double; -- напряжение (в)
type Current is double; -- ток (а)
type AngularVelocity is double; -- угловая скорость (рад/с)
```

Тогда составной объект класса "CFan" будет иметь структуру, показанную на рис. 2. Блок управления *C* реализован просто как стандартный идеальный усилитель (экземпляр класса SysLib.CGain), электродвигатель *M* является экземпляром декларированного в проекте класса DCMotor, а пропеллер *P* – экземпляром декларированного в проекте класса Propeller.

Поведение электродвигателя задается системой уравнений

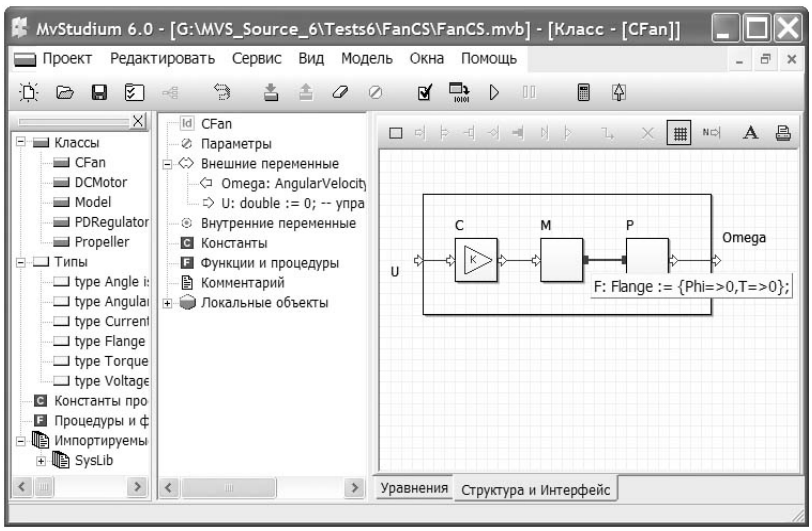


Рис. 2. Структура класса CFan

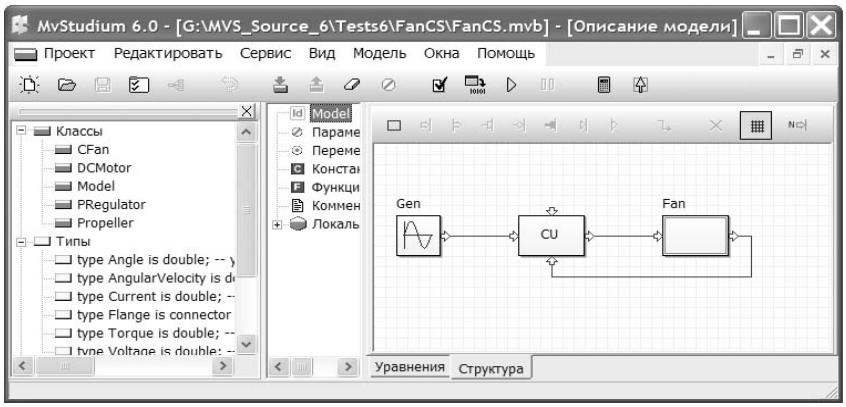


Рис. 3. Модель системы управления вентилятором

$$Jm\frac{d^2\mathrm{F.Phi}}{dt^2} = k1\cdot Ia + \mathrm{F.T};$$

$$La\frac{dIa}{dt} = V - k2\frac{d\mathrm{F.Phi}}{dt} - Ra\cdot Ia.$$

А поведение вентилятора – системой уравнений

$$Jp\frac{d^2\mathrm{F.Phi}}{dt^2} = \mathrm{F.T} - kp\frac{d\mathrm{F.Phi}}{dt};$$

$$Omega = \frac{d\mathrm{F.Phi}}{dt}.$$

Модель системы управления вентилятором представлена на рис. 3. Она включает в себя объект управления Fan – экземпляр класса CFan, простейший пропорциональный регулятор CU – экземпляр класса PRegulator и генератор синусоидального тестового сигнала Gen – экземпляр стандартного класса SysLib. CSineGenerator.

Запустив визуальную модель, откроем окно текущей совокупной системы уравнений и посмотрим, какую систему уравнений автоматически построил анализатор для этой модели (рис. 4).

Текущая совокупная система уравнений

N	Объект	Уравнение	Иск.перем.
		Дифференциальные уравнения	
1	Fan.M	$\frac{d\mathrm{F.Phi}}{dt}$ = F.Phi';	Fan.M.F.Phi
2	Fan.M	$\frac{d\mathrm{F.Phi'}}{dt}$ = F.Phi'';	Fan.Omega
3	Fan.M	$\frac{dIa}{dt}$ = Ia';	Fan.M.Ia
		Формулы	
4	Gen	$Y = Amplitude\cdot\sin\left(2\cdot pi\cdot\frac{time}{Period}+InitialPhase\right)$;	**Gen.Y**
5	CU	e = Xp-X;	**CU.e**
6	CU	U = Ke· e;	**CU.U**
7	Fan	Fan.M.F.T = -Fan.P.F.T;	Fan.M.F.T
8	Fan.C	Y = K· X;	**Fan.C.Y**
		Алгебраические уравнения	
9	Fan.M	Jm· F.Phi'' = k1· Ia+F.T;	Fan.M.F.Phi''
10	Fan.M	La· Ia' = V-k2· F.Phi'-Ra· Ia;	Fan.M.Ia'
11	Fan.P	Jp· F.Phi'' = F.T-kp· F.Phi';	Fan.P.F.T
		Эквивалентные переменные	
12		CU.U = Fan.U = Fan.C.X	
13		Fan.Omega = CU.X = Fan.P.Omega = Fan.M.F.Phi' = Fan.P.F.Phi'	
14		Fan.M.F.Phi'' = Fan.P.F.Phi''	
15		Gen.Y = CU.Xp	
16		Fan.C.Y = Fan.M.V	
17		Fan.M.F.Phi = Fan.P.F.Phi	

Рис. 4. Совокупная система уравнений модели

Пакет стандартных компонентов для моделей электрических схем

Создадим пакет “Electricity”, в котором определим стандартные компоненты для моделирования простейших электрических цепей: источник переменного напряжения, резистор, “земля”, конденсатор, индуктивность, диод. Определим тип Current для токов, тип Voltage для напряжений и тип Pin для ‘ножек” электрических компонентов:

```
type Voltage is double; -- напряжение (в)
type Current is double; -- ток (а)
type Pin is – “ножка” элемента
 connector
  contact V: Voltage;
  flow   I: Current;
 end connector;
```

Все перечисленные элементы кроме “земли” – двухполюсники. Введем абстрактный класс OnePort, который используем затем как родительский для остальных классов. Абстрактный класс не может иметь экземпляров. Определим две внешние переменные – положительную и отрицательную “ножки” “p” и “n”, а также две внутренние переменные – ток через элемент I и падение напряжения на элементе V (рис. 5).

Уравнения в этом классе соответствуют уравнениям двухполюсника:

V = p.V-n.V

I = p.I

n.I+p.I = 0

Класс Резистор является производным от класса **OnePort и наследует его переменные,** структуру и уравнения (рис. 6). Для задания собственного поведения резистора вводится

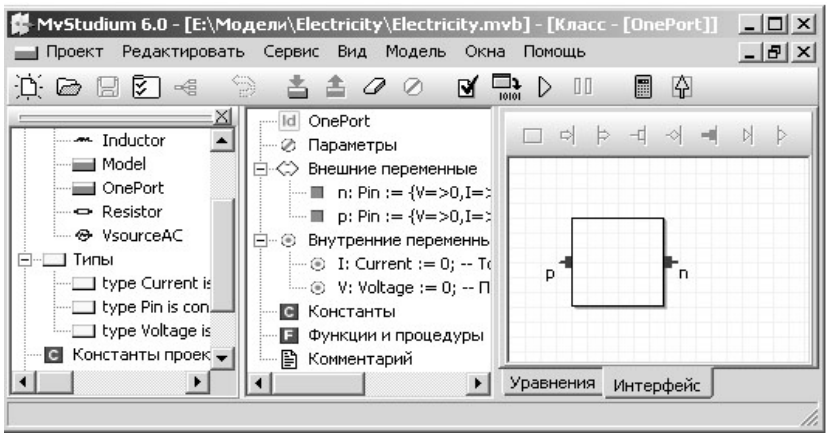


Рис. 5. Интерфейс абстрактного класса **OnePort**

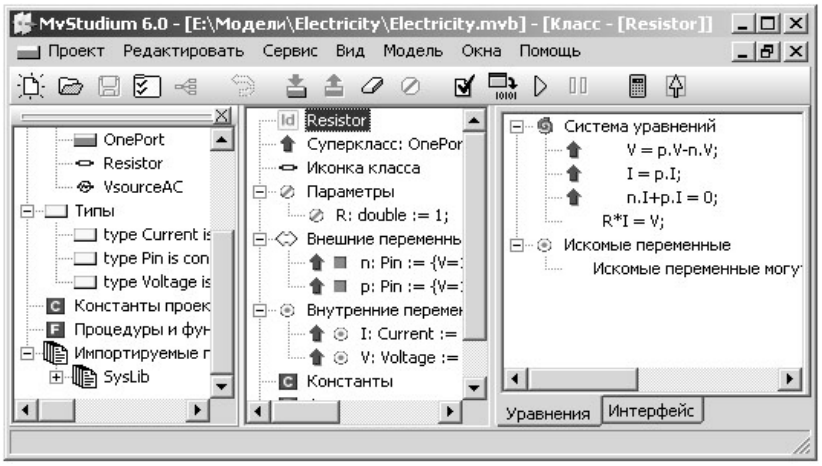


Рис. 6. Производный класс **Resistor**

параметр R (величина омического сопротивления) и дополнительное уравнение – закон Ома (рис. 6).

Обращаем внимание, что в данном случае уравнения доопределены, а не переопределены, и в случае изменения уравнений в классе OnePort изменятся и унаследованные уравнения в производном классе. Аналогичным образом определяются производные классы Capacitor и Inductor. Для конденсатора вводится параметр C – ёмкость конденсатора и доопределяется уравнение конденсатора (рис. 7). Для индуктивности соответственно вводится параметр L – величина индуктивности и доопределяется уравнение индуктивности (рис. 8).

Наиболее интересным потомком класса OnePort видится идеальный диод – производный класс IdealDiod. Идеальный диод пропускает ток только в одном направлении – от положительной "ножки" к отрицательной. Поэтому класс IdealDiod должен быть гибридным с двумя состояниями, соответствующими открытому и закрытому диоду (рис. 9).

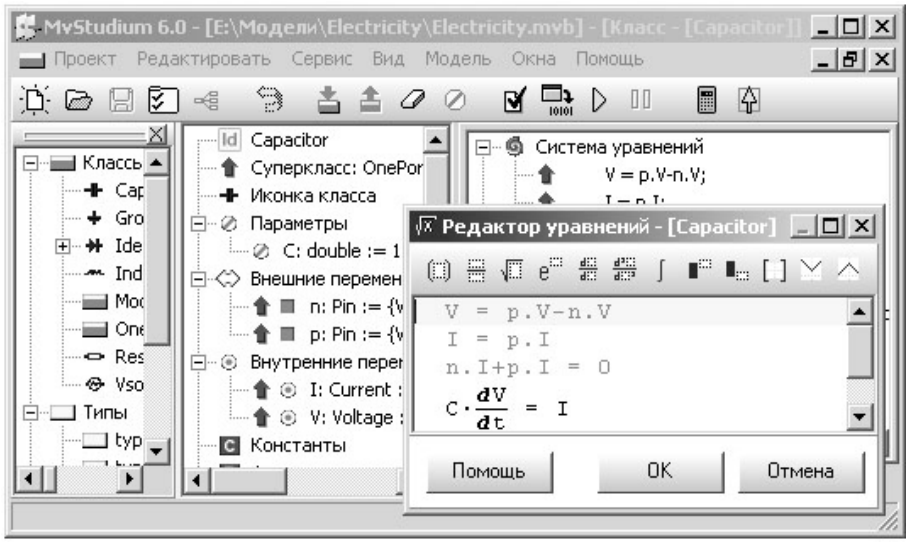


Рис. 7. Производный класс Capacitor

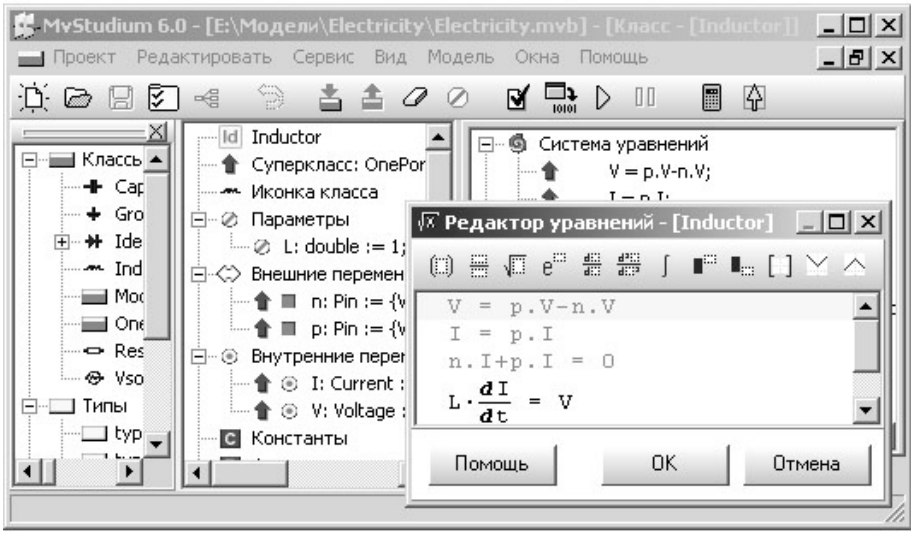


Рис. 8. Производный класс Inductor

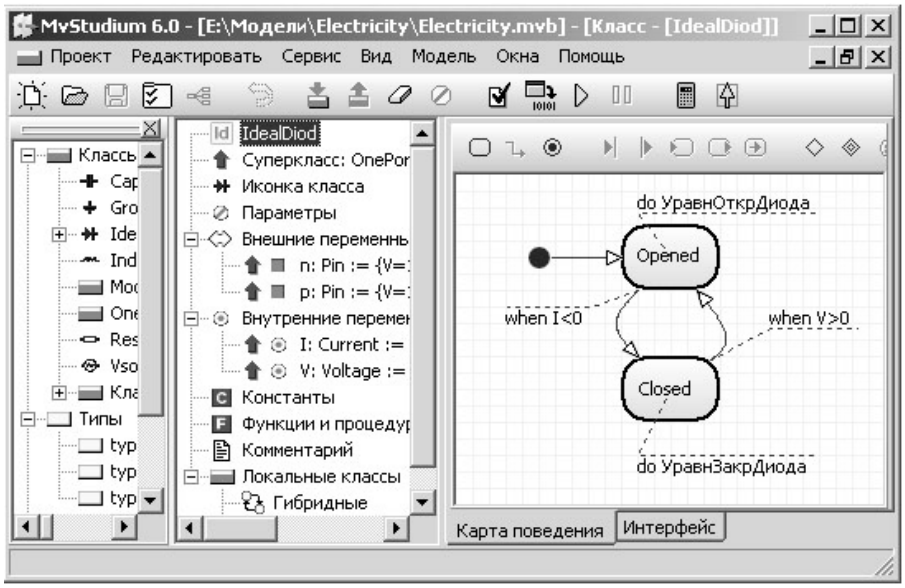


Рис. 9. Карта поведения идеального диода

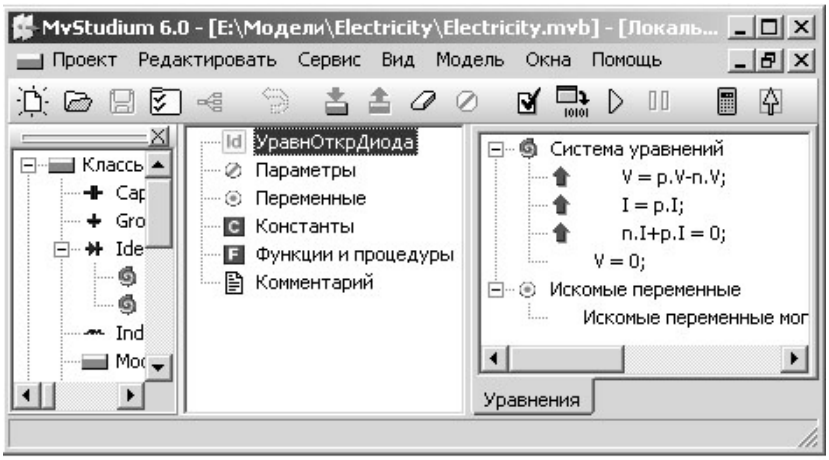


Рис. 10. Локальный непрерывный класс УравнОткрДиода

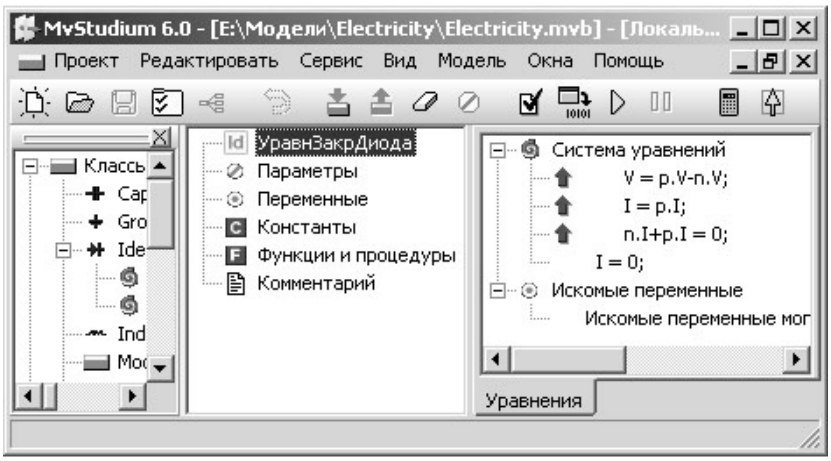


Рис. 11. Локальный непрерывный класс УравнЗакрДиода

Однако родительский класс (суперкласс) OnePort является непрерывным. Класс IdealDiod наследует интерфейс и переменные родительского класса и переопределяет стереотип класса на "гибридный". Уравнения родительского класса автоматически наследуются непрерывными локальными классами УравнОткрДиода (рис. 10) и УравнЗакрДиода (рис. 11).

Наконец, класс Ground задаёт объект с одной внешней переменной типа Pin, в которой напряжение постоянно равно нулю:

p.V = 0

Модель простой электрической цепи

Воспользуемся созданными компонентами для создания модели электрической цепи переменного тока. Выберем тип проекта "блок-схема" и импортируем пакет Electricity. Далее из компонентов этого пакета соберем структурную схему, показанную на рис. 12. Связи между коннекторами изображаются жирной линией. Отметим, что заземление должно присутствовать обязательно, в противном случае совокупная система уравнений будет иметь бесконечно много решений.

Запустим визуальную модель. Анализатор уравнений по уравнениям компонентов и уравнениям связей сформирует совокупную систему уравнений и приведет ее к виду, пригодному для численного решения. В данном случае модель чисто непрерывная, и потому совокупная система уравнений в ходе вычислительного эксперимента изменяться не будет. Рассмотрим полученную систему уравнений подробнее (в таком виде она сохраняется в файл):

```
**** Дифференциальные уравнения ****
1 L1 d(I)/dt = I′;                    L1.p.I
2 C1 d(V)/dt = V′;                    C1.V
**** Алгебраические уравнения ****
3 AC V  = p.V-n.V;                    AC.n.V
4 R2 V  = p.V-n.V;                    R2.p.V
5 C1 V  = p.V-n.V;                    C1.p.V
6 R1 R*I  = V;                        R1.I
7 L1 L*I′ = V;                        L1.I'
8 R2 R*I  = V;                        R2.V
9 C1 C*V′ = I;                        C1.V'
**** Формулы ****
10 R1  n.I = -p.I;                    R1.n.I
11 L1  n.I = -p.I;                    L1.n.I
```

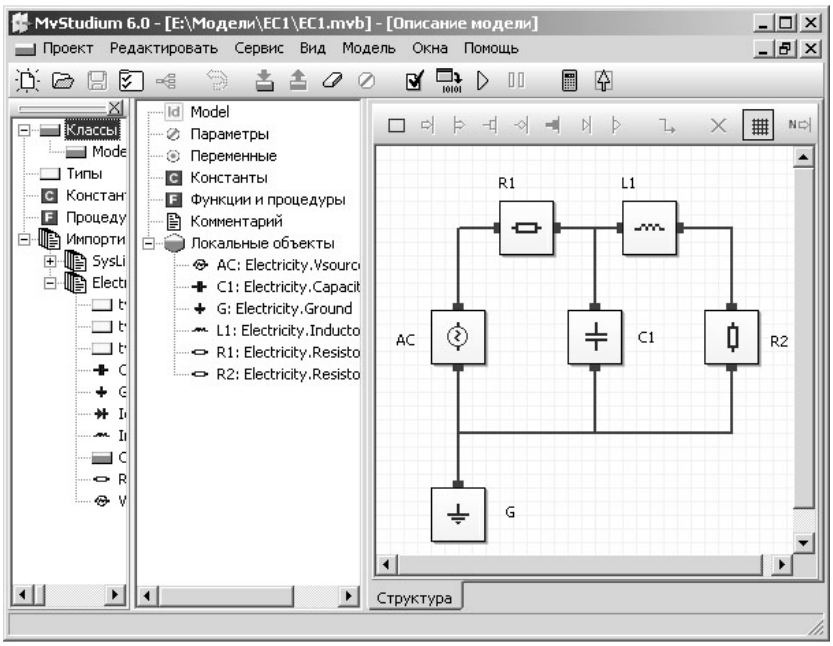


Рис. 12. Модель простой электрической цепи

```
12 model C1.p.I   = -R1.n.I-L1.p.I;          C1.p.I
13 model R2.p.I   = -L1.n.I;                 R2.p.I
14 model AC.n.I   = -R1.p.I;                 AC.n.I
15 R2   n.I = -p.I;                          R2.n.I
16 C1   n.I = -p.I;                          C1.n.I
17 AC   p.I = -n.I;                          AC.p.I
18 model G.p.I = -AC.p.I-C1.n.I-R2.n.I;      G.p.I
19 L1    V = p.V-n.V;                        L1.V
20 R1    V = p.V-n.V;                        R1.V
21 AC    V = VA*sin(2*pi*F*time);            AC.V
**** Эквивалентные переменные ****
22  AC.n.V  = R1.p.V
23  R1.n.V  = L1.p.V = C1.p.V
24  L1.n.V  = R2.p.V
25  AC.p.V  = G.p.V = C1.n.V = R2.n.V
26  AC.p.I  = AC.I
27  R1.p.I  = R1.I
28  L1.p.I  = L1.I
29  R2.p.I  = R2.I
30  C1.p.I  = C1.I
**** Константы ****
31 G p.V     = 0; G.p.V
```

В левом столбце таблицы указан контекст уравнения (объект, которому оно принадлежит), в среднем – само уравнение, в правом – искомая переменная. В контексте объекта “model” находятся уравнения связей. Система уравнений оптимизирована: равенства константам вынесены из системы, уравнения контактов заменены эквивалентностью переменных, уравнения потоков разрешены символьно относительно искомой переменной.

Модель выпрямителя

Аналогичным образом соберём схему выпрямителя (рис. 13).

Эта модель является гибридной, и совокупная система уравнений будет формироваться заново всякий раз при изменении состояния в карте поведения диода (рис. 14).

Рассмотрим второй вариант этой модели. Выделим собственно выпрямитель в отдельный компонент-четырехполюсник (рис. 15). Тогда всю электрическую цепь можно будет представить как совокупность источника переменного напряжения, выпрямителя и нагрузки (рис. 16).

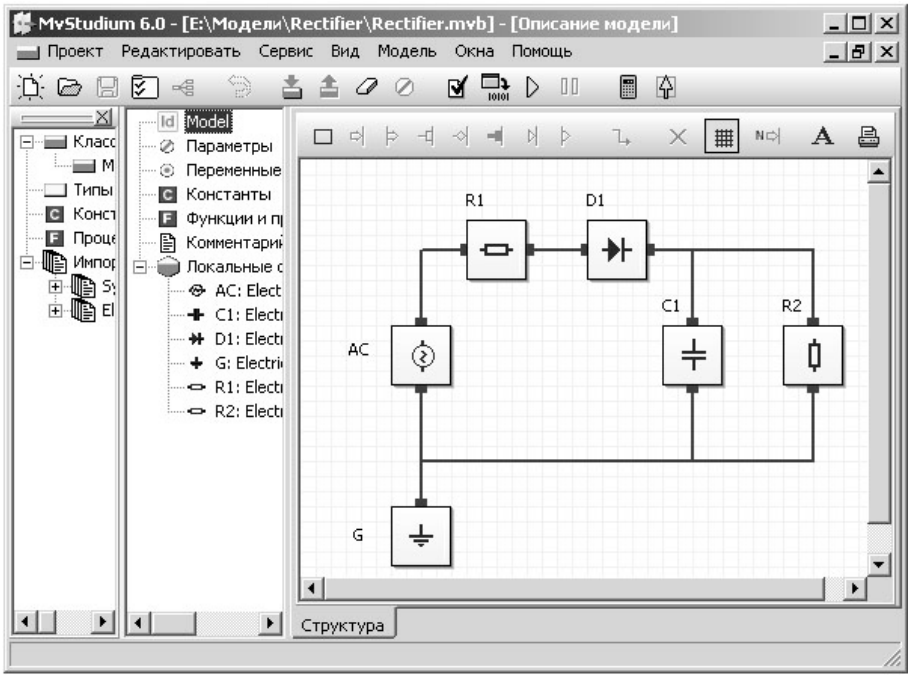


Рис. 13. Схема выпрямителя

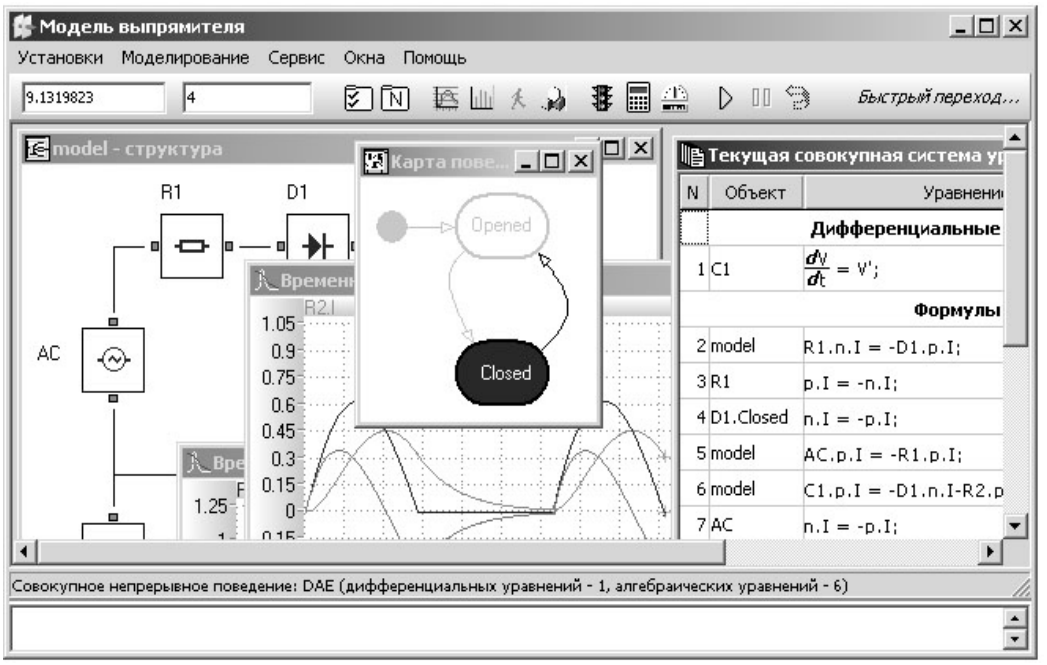


Рис. 14. Вычислительный эксперимент с моделью выпрямителя

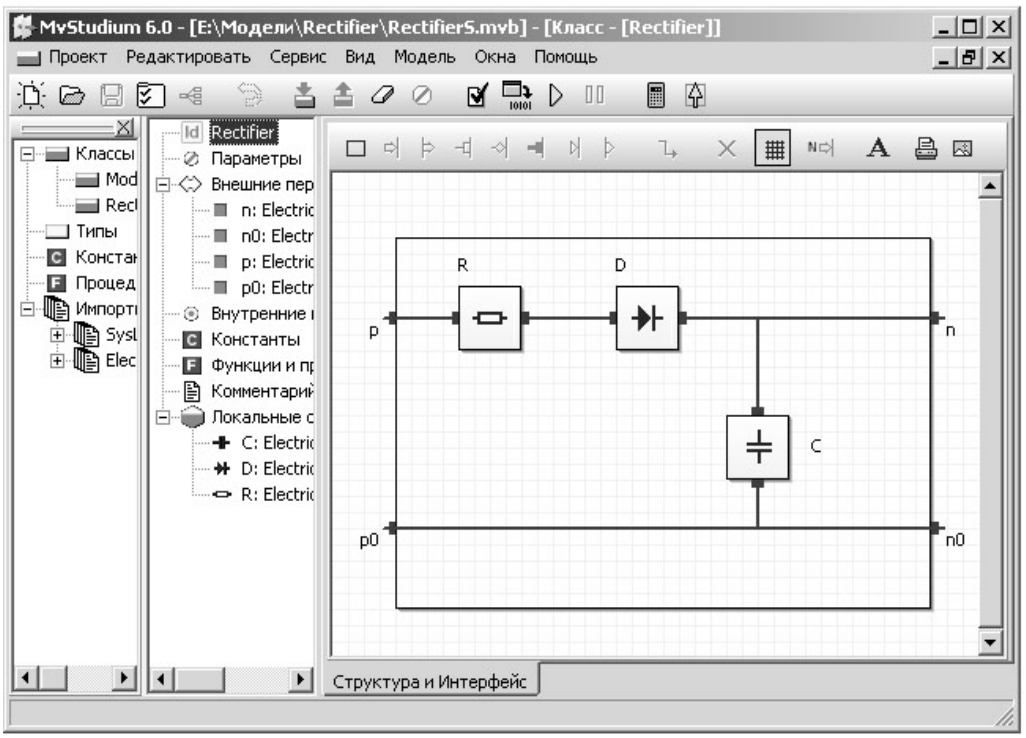


Рис. 15. Выпрямитель как отдельный компонент

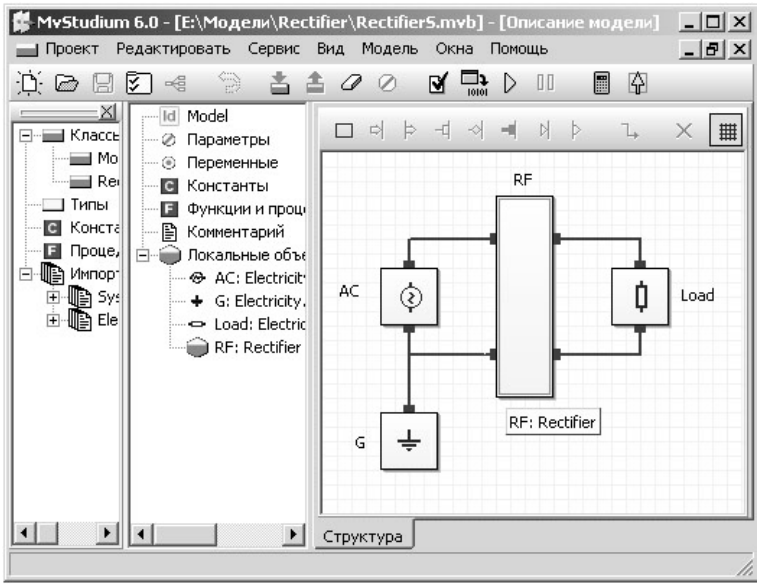


Рис. 16. Компонентная схема источник – выпрямитель – нагрузка

В системе моделирования MvStudium 6 впервые практически реализован подход к компонентному моделированию физических систем, сочетающий сильные стороны языков Modelica и UML. Найдены технические решения, позволяющие выполнять Runtime-анализ совокупных систем уравнений (до нескольких тысяч уравнений) достаточно быстро, чтобы обеспечить работу моделей в реальном времени. Были созданы компонентные модели промышленных электрических, механических и гидравлических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.** Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. СПб.: БХВ. 2006. 224 с.

2. Modelica® - A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling. Language Specification. Version 3.0. (www.modelica.org).

3. **Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.** Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. СПб.: БХВ. 2006. 192 с.

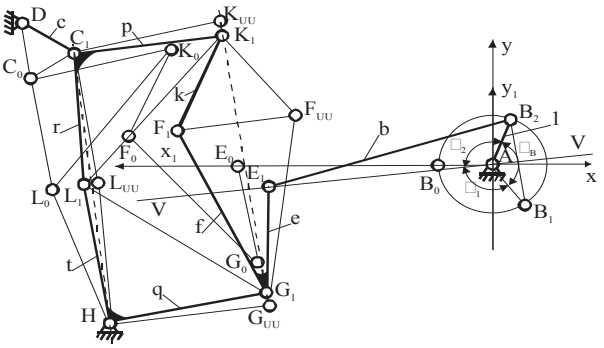
УДК 621.01-52+621.865.8

В.Г. Хомченко, Е.С. Гебель,
Е.В. Солонин

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА IV КЛАССА С ВЫСТОЕМ

Общее при проектировании машин и механизмов заключается в том, что для заданной математической модели требуется подобрать значения варьируемых параметров, обеспечивающие получение экстремальных величин одного или нескольких критериев качества. Таким образом, приходится иметь дело с задачами многопараметрической и многокритериальной оптимизации.

Среди численных методов поиска оптимальных решений не существует универсального. Поэтому наиболее привлекательными становятся методы исследования, которые при наличии адекватной математической модели требуют минимума априорной информации о решаемой задаче, более того, позволяют по ходу решения получать такую информацию легко и просто. К таковым относится метод Монте-Карло и его модификации [1]. В основе использования метода Монте-Карло и его модификаций лежат принципы случайного поиска решения задачи, что и делает такой подход универсальным. Но платой за универсальность является определенная "слепота", и это приводит к громадным объемам вычислений даже для современных вычислительных машин, тем более что имеет место рост размерности решаемых задач (растет число фазовых координат и число конструктивных (оптимизируемых) параметров, число критериев качества, характеризующих систему).



Кинематическая схема
шарнирного механизма IV класса

В значительной степени эту потребность реализует метод ЛП-поиска [2], который был применен для решения задачи оптимального проектирования рычажных механизмов IV класса с приближенным выстоем выходного звена по заданной циклограмме, используемых в различных отраслях промышленности.

Механизмы IV класса благодаря своим кинематическим особенностям обладают большими потенциальными возможностями обеспечения повышенной точности выстоя выходного звена по сравнению, например, с восьмизвенными механизмами II класса с таким же числом звеньев.

Рассматриваемый механизм (см. рисунок) проектируется при условии обеспечения на интервале выстоя наилучшего равномерного приближения функции положения выходного звена механизма к заданной функции положения рабочего органа.

Важное условие синтеза плоского рычажного механизма IV класса с выстоем по заданной циклограмме – требуемая точность выстоя выходного звена [3]. В качестве параметра, характеризующего кинематическую погрешность выстоя и точностные свойства многозвенного шарнирного механизма в целом, чаще используют угол малого размаха выходного звена механизма на интервале выстоя ψ^1. Однако этот критерий не отражает в полной мере точностных свойств рычажных механизмов, поскольку его значение можно уменьшать простым увеличением линейного параметра. Математически строгий и универсальный критерий – относительное перемещение характерной точки выходного звена за интервал выстоя

$$l = \sqrt{2} \cdot c \sqrt{1 - \cos\left(\psi^1\right)}. \qquad (1)$$

В качестве свободных параметров рассматриваются одиннадцать параметров, назначенных на этапе кинематического синтеза механизма IV

класса с выстоем выходного звена по заданной циклограмме:

$$X = (b, e, f, k, q, p, \varepsilon, \eta_G, \sigma_K, \sigma_C, k_1), \qquad (2)$$

где b, e, f, k, q и p – соответственно относительные длины звеньев *BE*, *EG*, *GF*, *FK*, *GH* и *KC* (единичным звеном является кривошип *AB*); η_G – угол между сторонами *EG* и *GF* звена *EGF*; ε, σ_G, σ_K – углы, задающие положения звена *EG* относительно звена *BE*, стороны *GH* треугольного звена *GHL* относительно звена *EG*, стороны *KC* треугольного звена *KCL* относительно биссектрисы *GK* в начале и конце интервала выстоя.

Пространством параметров будет j-мерное пространство, состоящее из N точек с декартовыми координатами (X_1, ..., X_j). Таким образом, каждой точке j-мерного пространства варьируемых параметров соответствует конкретный набор значений (2), удовлетворяющих неравенствам (3). Область поиска оптимальных сочетаний параметров представляет собой гиперпараллелепипед, заданный следующей системой параметрических ограничений:

$$X_i^* \le X_i \le X_i^{**}, \qquad (3)$$

где X_i^*, X_i^{**} – верхняя и нижняя границы возможного изменения параметра, $i = 1, ..., 11$.

Целевая функция (главный критерий качества) представляет собой зависимость главного критерия оптимизации (1) от варьируемых параметров механизма (2):

$$Y(X) = \min_{X \in \Omega} \{l\}, \qquad (4)$$

где X – вектор свободных параметров синтеза механизма, т. е. набор линейных и угловых кинематических параметров механизма; Ω – псевдовыпуклая область допустимых значений параметров синтеза, которая формируется условиями сборки и работоспособности механизма, условиями задачи синтеза, ограничениями на длины звеньев (3).

Функциональные ограничения (критерии качества) запишем в общем виде:

$$z^* \le \max_{\phi} (f(X)) \le z^{**}, \qquad (5)$$

где $f(X)$ – некоторые функции от свободных параметров синтеза, в качестве которых могут выступать функции углов давления в шарнирах, критерии качества передачи сил и движения [4]; z^*, z^{**} – минимальные и максимальные предельно допустимые значения функции.

Целевая функция задачи оптимизационного синтеза многозвенных рычажных механизмов имеет значительный объём одной пробы (проба целевой функции – однократный подсчёт её значения при фиксированном векторе параметров) и достаточно большую размерность вектора параметров. Кроме того, проба – это единственный способ получения информации о поведении целевой функции, т. к. непосредственное аналитическое выражение функции $Y(X)$ отсутствует.

Первоначально с целью отыскания окрестностей локальных экстремумов была исследована достаточно обширная область гиперпространства параметров механизма с центром в точке, координатами которой были параметры исходного механизма, полученные после кинематического синтеза (табл. 1).

В результате кинематического синтеза рычажного механизма IV класса с выстоем [3] с заданным набором свободных параметров (см. табл. 1) рассчитываемые параметры синтеза приняли следующие значения в относительных единицах: длина стороны *HL* и угол при вершине *H* коромысла *GHL* $t = 1{,}097$ и $\eta_H = 97{,}59°$ соответственно; кинематические параметры треугольного звена *KCL* – длина стороны *LC* $r = 2{,}485$ и угол $\eta_C = 90{,}56°$; выходное звено *CD* – $c = 1{,}2343$. Критерии качества передачи сил

Таблица 1

Параметры исходного механизма

Задаваемые параметры			Свободные параметры											
φ_1	$\varphi_в$	ψ^R	a	b	e	f	ε	η_G	σ_G	σ_K	q	k	k_1	p
120°	130°	50°	2	3,75	1	1,5	90°	10°	80°	90°	1	2,25	0,7	1

Таблица 2

Допуски изменения параметров

b	e	f	ε, град	$\eta_{G,}$ град	$\sigma_{G,}$ град	$\sigma_{K,}$ град	q	k	k_1	p
3,75 (±0,75)	1 (±0,5)	1,5 (±1)	90 (±10)	10 (±5)	80 (±10)	90 (±10)	1 (±0,5)	2,25 (±0,75)	0,7 (±0,1)	1 (±0,5)

и движения, т. е. их максимальные значения на полном угле поворота входного кривошипа, равны: $\upsilon_E = 41{,}22$ °, $\upsilon_K = 34{,}33°$, $\upsilon_C = 55{,}68°$, $K_1 = 0{,}54$, $K_2 = 3{,}29$. Погрешность позиционирования выходного звена *CD* (см. рисунок) на интервале выстоя составила в относительных единицах 0,025, что соответствует отклонению от заданного положения рабочего органа ± 0,00175.

Область поиска оптимальных сочетаний параметров представляла гиперпараллелепипед, заданный как допуски изменения каждого из параметров (табл. 2) .

При решении задачи по изложенной выше методике осуществлялась рандомизация всего процесса поиска оптимальных сочетаний параметров x_j. (табл. 3). Параметры матрицы выбраны следующими: $N = 218$ – общее число всех машинных экспериментов на ЭВМ, $r = 10$ – мерность исходного пространства варьируемых параметров, предельно допустимое относительное перемещение характерной точки выходного звена за интервал выстоя $l_{\min}$ (параметр для прекращения поиска) – 0,0001 в относительных единицах.

Анализируя полученные численные значения в качестве оптимального решения задачи проектирования рычажного механизма IV класса с приближенным выстоем выходного звена по заданной циклограмме, был принят вариант № 53, соответствующий следующему набору параметров: $b = 1{,}65$; $e = 1{,}04$; $f = 1{,}48$; $\varepsilon = 90°$; $\eta_G = 10°$; $\sigma_G = 80°$; $\sigma_K = 90°$; $q = 1$; $k = 2{,}25$; $p = 1$; $k_1 = 0{,}7$.

При этом рассчитываемые параметры синтеза составили: $t = 1{,}085$; $r = 2{,}44$; $c = 1{,}33$; $\eta_H = 100{,}81°$; $\eta_C = 90{,}10°$.

Максимальные значения критерия качества на всем интервале изменения обобщенной координаты, а именно угла поворота входного кривошипа *AB*, не превышают допустимых границ изменения и равны: $\upsilon_E = 50{,}00°$, $\upsilon_K = 43{,}82°$, $\upsilon_C = 53{,}89°$, $K_1 = 0{,}81$, $K_2 = 3{,}00$.

Минимальное значение малого перемещения выходного звена за интервал выстоя составило 0,00012 в относительных единицах.

Сочетание идеи дискретного квазиравномерного по вероятности зондирования j – мерного пространства варьируемых параметров в алгоритме ПЛП-поиска позволяет, с одной стороны, осуществлять глобальный квазиравномерный просмотр заданной области варьируемых параметров, а с другой – применять многие формальные оценки из математической статистики, т. е. количественные оценки влияния изменения варьируемых параметров и их парных сочетаний на анализируемые свойства рассматриваемой динамической системы. Одним из определяющих условий, повышающих эффективность применения поисковых методов при решении задач оптимального проектирования, является классификация всех параметров по степени их влияния на значение функции цели, т. е. выделение существенных параметров.

Таблица 3

№ п/п	Свободные параметры синтеза											Главный критерий
	b	e	f	ε, град	$\eta_{G,}$ град	$\sigma_{G,}$ град	$\sigma_{K,}$ град	q	k	k_1	p	l
0	3,75	1,01	1,51	90	10	80	90	1	2,25	0,7	1,04	0,025
1	4,55	1	1,49	93	11	82	92	1,02	2,5	0,701	1,11	0,045
2	3,75	1,05	1,52	95	13	85	91	1,04	2,35	0,75	1,06	0,00039
3	3,75	1,08	1,5	99	12	82	93	1,01	2,15	0,8	1,48	0,009
4	2,15	1,03	1,53	100	11	84	96	1,03	1,95	0,734	1,26	0,015
5	1,65	1,04	1,48	91	10	81	100	1,01	3,05	0,74	1	0,0212
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
217	2,45	1,13	1,34	90	15	84	98	1,02	1,95	0,65	1,36	0,00013
218	1,85	1,47	1,12	92	13	81	92	1,01	3,05	0,43	1,01	0,0129

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бусленко Н.П., Голенко Д.И., Соболь И.М.** и др. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). М.: Физматгиз. 1962. 322 с.

2. **Соболь И.М., Статников Р.Б.** Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа. 2006. 175 с.

3. **Хомченко В.Г., Гебель Е.С., Солонин Е.В., Соломин В.Ю.** Кинематический синтез и анализ рычажных механизмов IV класса с выстоем выходного звена по заданной циклограмме // Proc. 12th World Congr. on the TMM. France, Beanson. 2006. **P. 6.**

4. **Хорунжин В.С., Бакшеев В.А, Шариков А.Н.** и др. К определению углов давления и критериев качества передачи движения в рычажных механизмах IV класса с остановками выходного звена по заданным циклограммам // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. 2008. № 1 (64). С. 27–30.

5. **Статников И.Н., Фирсов Г.И.** Планирование вычислительного эксперимента в задачах многокритериального моделирования динамических систем // Компьютерное моделирование 2005. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2005. С. 104–112.

УДК 621.01

Г.Н. Петров

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СРЕДЕ MODEL VISION

В последние десятилетия машиностроение развивалось быстрыми темпами, в нём происходили качественные изменения. В частности, поиск новых технологий производства привел к появлению широкого класса многодвигательных машин. К существовавшим ранее подъёмно-транспортным машинам добавились разнообразные роботы с открытыми и замкнутыми кинематическими цепями, многооперационные станки с программным управлением, механизмы относительного манипулирования, всевозможные позиционирующие платформы и т. д. При моделировании этих механических систем важным условием является возможность визуального наблюдения за моделью, управления параметрами модели с помощью виртуального пульта управления. В данной статье приведено описание нескольких моделей механических систем, созданных с помощью пакета Model Vision.

Пакет Model Vision разработан Д.Б. Иноховым, Ю.Б. Колесовым, Ю.Б. Сениченковым (регистрационное свидетельство Роспатента № 990643 от 6 сентября 1999 г.). Подробно с этим программным комплексом можно ознакомиться на сайте http://www.xjtek.com

Пакет позволяет:

проводить вычислительный эксперимент, базирующийся на принципах объектно-ориентированного программирования. Действующая модель может быть разбита на множество отдельных устройств, взятых из имеющейся библиотеки или созданных самим пользователем. Связи между устройствами устанавливаются с помощью легко осваиваемого графического интерфейса;

решать алгебраические, дифференциальные уравнения. Запись алгебродифференциальных уравнений производится на языке, близком по форме к языку пакета MATHCAD;

создавать для каждого устройства карты поведения, которые способны описывать смену поведения динамических систем;

использовать встроенную в пакет 2D-анимацию. С её помощью можно создавать “пульт управления” с различными индикаторами, кнопками, бегунками, позволяющими в процессе эксперимента дискретно или плавно менять отдельные параметры модели;

использовать 3D-анимацию для наблюдения за движением исследуемого объекта в пространстве во время проведения вычислительного эксперимента;

создавать окна графиков временных и фазовых диаграмм.

Среда легко осваивается, удобна в использовании. Приведем описание нескольких моделей.

Миксер (рис.1, *а*). Показана работа замкнутого пространственного шестизвенного механизма. Механизм связывает две параллельные оси *1* и *5*. Пять подвижных звеньев соединены между собой шестью вращательными кинематическими парами. Механизм имеет одну избыточную (лишнюю) связь за счет того, что оси кинематических пар, соединяющих каждое подвижное звено с соседними, взаимно перпендикулярны. Звено *3* выполнено в виде полого герметичного цилиндра. При сложном пространственном движении этого звена жидкость или сыпучие материалы, помещенные внутрь цилиндра, перемешиваются.

Платформа Стюарта (рис. 1, *б*). Механизм предназначен для позиционирования платформы в пространстве. Ноги платформы выполнены в виде гидроцилиндров, связанных сферическими шарнирами с самой платформой и с основанием. Для нормальной работы механизма необходимо шесть входов, поэтому в каждый момент времени два гидроцилиндра должны быть отключены (их штоки имеют более светлый тон). Выбор шести активных приводов, обеспечивающих оптимальную работу механизма, описан в работе [1].

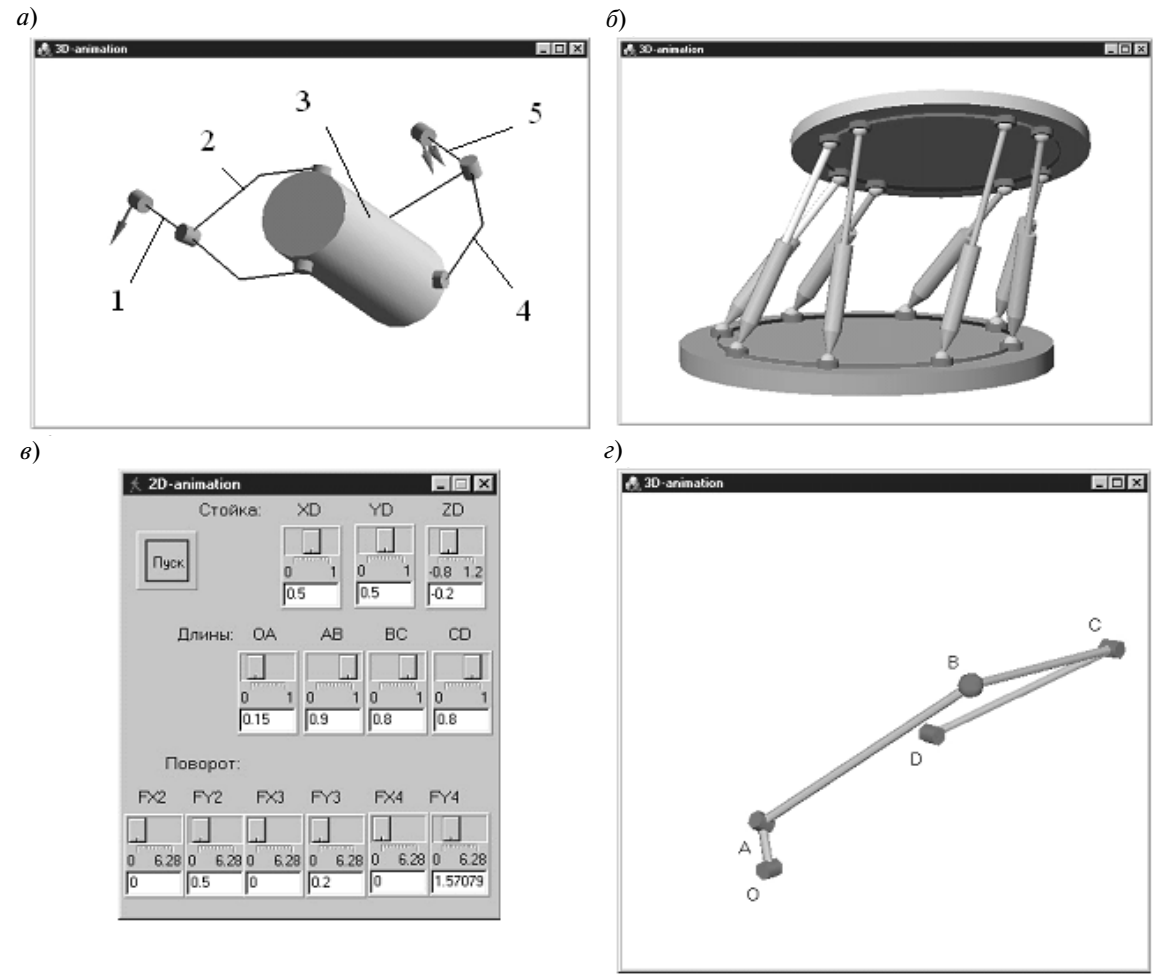


Рис. 1. Рычажные механизмы: *а* – миксер; *б* – платформа Стюарта; *в, г* – пространственный механизм

Пространственный механизм. На рис. 1, *в* показана панель 2D- анимации, которая позволяет установить нужные длины звеньев (*OA*, *AB*, *BC*, *CD*) и координаты присоединения шарнира *D* к стойке (*XD*, *YD*, *ZD*) пространственного пятизвенного механизма с одной степенью подвижности (рис. 1, *г*). Четыре подвижных звена составляют замкнутую кинематическую цепь.

Шарниры *O*, *A*, *C*, *D* цилиндрические, шарнир *B* сферический. Для цилиндрических кинематических пар на панели 2D-анимации указывается ориентация относительно локальных систем координат (*FX*, *FY*). На данном примере нетрудно убедиться, что даже при незначительном изменении размеров механизм часто попадает в так называемые "особые положения", когда он не может провернуться.

Муфта Ольдгейма передаёт вращение между двумя валами с параллельными осями. На рис. 2, *а* показано окно 2D-анимации. Установим с его помощью угол скрещивания осей $F = 0$, расстояние между направляющими $h = 1{,}5$; несоосность по осям $dx = 1$, $dy = 1$. На рис. 2, *б* показана конструктивная схема муфты, а на рис. 2, *в* – её кинематическая схема (переход от одной схемы к другой осуществляется нажатием соответствующей кнопки в окне 2D-анимации). Оси *1* и *3* соединены двумя взаимно перпендикулярными поступательными кинематическими парами со вкладышем *2* и имеют одинаковую угловую скорость вращения.

Шарнир Гука предназначен для передачи вращения между валами со скрещивающимися осями. В том же окне 2D-анимации (рис. 2, *а*) установим угол скрещивания осей $F = 1$, $dx = dy = h = 0$. На рис. 2, *г*, *д* показаны конструктивная и кинематическая схемы шарнира. В данном случае звенья *1* и *3* соединены с вкладышем *2* вращательными кинематическими парами, оси которых скрещиваются под углом 90°.

Задний мост автомобиля. На рис. 3, *а* показана панель 2D-анимации, на рис. 3, *б* – конструктивная схема заднего моста заднеприводного автомобиля. Кнопками "Корпус" и "Дифференциал" на панели 2D-анимации можно "снять" (сделать невидимыми) корпус моста и крышку автомобильного дифференциала. Соответствующими бегунками можно сместить рисунок по координатам *X*, *Y*, *Z* и изменить масштаб (рис. 3, *в*). Коэффициент K_V ("Поворот") показывает соотношение скорости левого колеса и средней скорости моста ($-2 < K_V < 2$). Изменяя этот коэффициент, можно наблюдать работу дифференциала при вращении левого и правого колес с разными скоростями. Бегунок "Скорость" позволяет увеличить или уменьшить среднюю скорость двигателя.

Зубчатое зацепление. На рис. 3, *г* изображено зацепление зубчатого колеса *1* с колесом *2* и инструментальной рейкой *3*. Модуль зубчатого зацепления *m* принят равным 1 мм. С помощью панели 2D-анимации (рис. 3, *д*) можно изменять следующие параметры:

*x*1*n*, *x*2*n* – номинальные коэффициенты смещения при нарезании колес (для беззазорного зацепления);

*dx*1, *dx*2 – добавочные коэффициенты смещения при нарезании колес (они не приводят к изменению межосевого расстояния, т. е. появляется боковой зазор в зацеплении);

X, *Y*, "Масштаб" – можно сместить рисунок по координатам *X*, *Y* и изменить масштаб;

"beta" – угол наклона линии зуба (для косозубого зацепления);

S – толщина зуба;

*dra*1, *dra*2 – добавки к радиусам вершин.

Нажатием соответствующих кнопок можно сделать видимыми различные радиусы колес, линию зацепления, точки входа профилей в зацепление и пр. На рис. 3, *г* показана только линия зацепления и точки входа профилей в зацепление. На панель 2D-анимации (рис. 3, *д*) выводится также следующая справочная информация: числа зубьев колес, коэффициенты смещения, радиусы окружностей – делительных, основных, начальных, вершин, впадин; минимальные радиусы с эвольвентным профилем; межосевое расстояние, коэффициент перекрытия, коэффициенты удельного скольжения, наличие интерференции и подрезания. В среде Model Vision (до создания выполняемого файла) можно также задать нужные числа зубьев колес. Указанные в статье примеры можно найти на портале "Теория механизмов и машин" по адресу: http://tmm.spbstu.ru .

Рассмотренные примеры показывают, что использование пакета Model Vision позволяет сделать вычислительный эксперимент более наглядным. Можно наблюдать за поведением модели в режиме реального времени и управлять её поведением с помощью виртуального пульта управления.

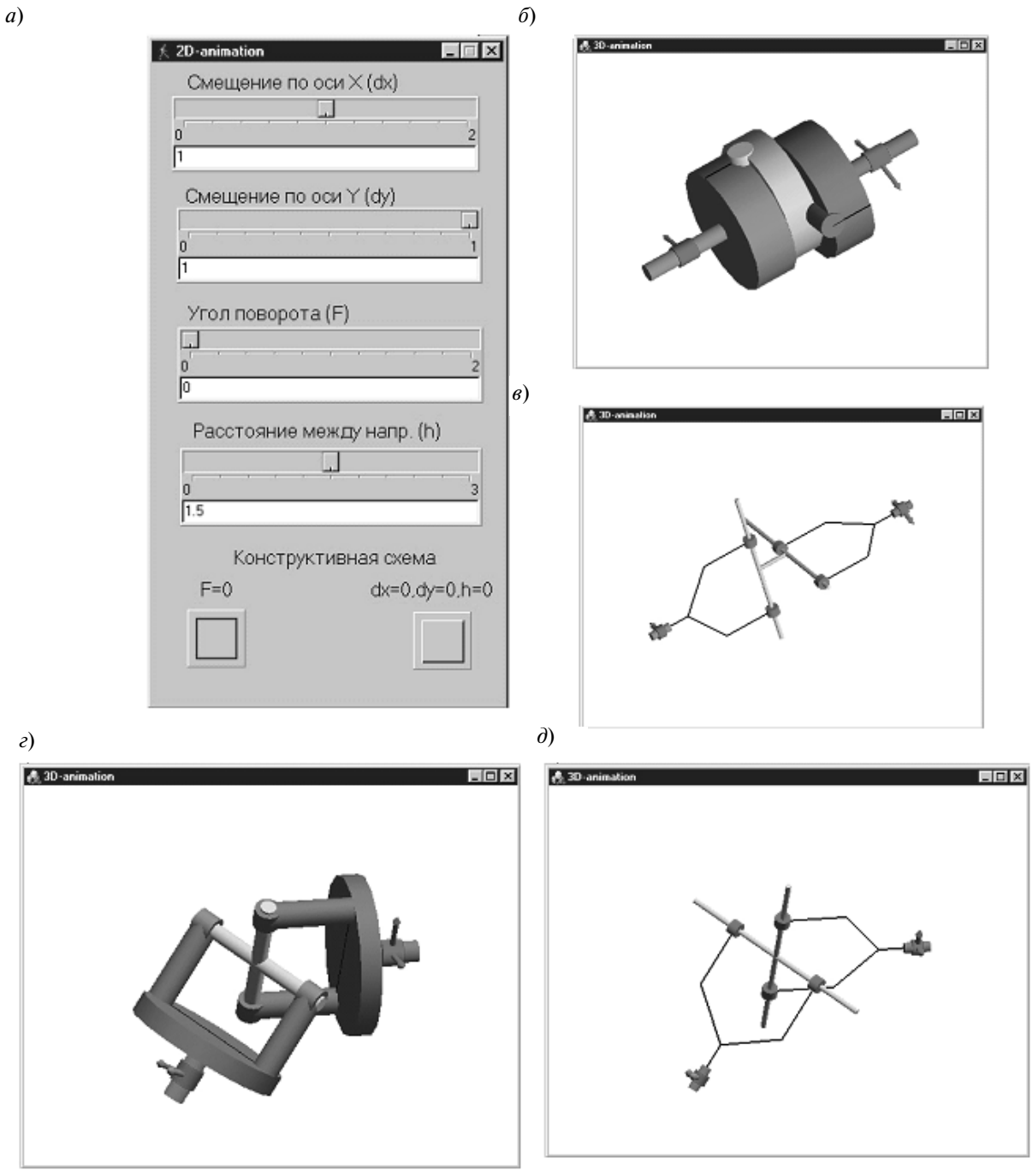


Рис. 2. Муфты: *а, б, в* – муфта Ольдгейма; *г, д* – шарнир Гука

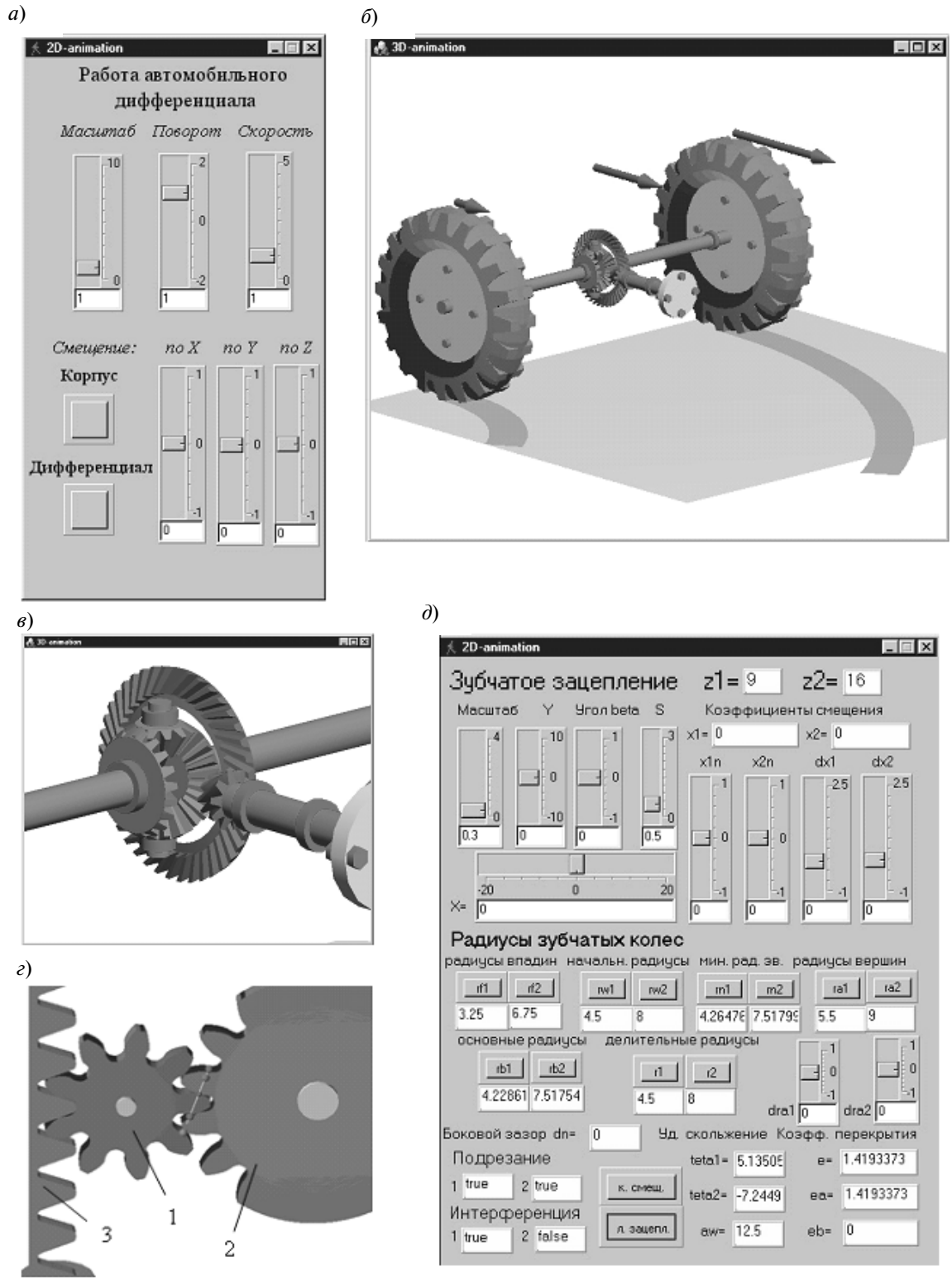


Рис. 3. Зубчатые механизмы: *а*, *б*, *в* – задний мост автомобиля;
г, *д* – зубчатая передача

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коловский М.З., Петров Г.Н., Слоущ А.В.** Об управлении движением замкнутых рычажных механизмов с несколькими степенями свободы // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2000. № 4.

2. **Евграфов А.Н., Петров Г.Н.** Компьютерное моделирование механических систем // Труды СПбГПУ. 2007. № 504.

3. **Евграфов А.Н., Петров Г.Н.** Компьютерная анимация кинематических схем в программах EXCEL и MATHCAD // Теория механизмов и машин. Периодический научно-методический журнал. Изд. СПбГПУ. 2008. № 1.

4. **Евграфов А.Н., Петров Г.Н.** Геометрический и кинетостатический анализ плоских рычажных механизмов второго класса // Теория механизмов и машин. Периодический научно-методический журнал. Изд. СПбГПУ. 2003. № 2.

5. **Петров Г.Н.** Определение реакций в шарнирах плоских многоподвижных механизмов с учетом сил трения // Периодический научно-методический журнал. Изд. СПбГПУ. 2003. № 1.

УДК. 534.014.2;004.93

М.С. Скляренко, М.А. Марценюк, В.Г. Сивков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МЕТОДОМ СКОРОСТНОЙ ФОТОСЪЁМКИ

Появление современной компьютерной техники, такой, как скоростная фотосъёмка, и новых возможностей цифровой обработки фотографий позволяют получать высокоточные количественные данные о координатах и скоростях движения механических систем. До этого подобные эксперименты требовали так много времени и сил, что осуществлялись только в исключительных случаях. Сейчас мы значительно приблизились к тому, чтобы такие исследования стали доступны даже для студенческой лаборатории, что качественно изменит сам характер обучения, делая его приближенным к реальности.

В предыдущих наших работах [1–3] компьютерные методы были использованы для изучения *свободных* колебаний физического маятника в поле тяжести при наличии трения. Количественно была исследована область линейного приближения в описании колебаний, а также начало области проявления нелинейных эффектов, возрастающих с ростом амплитуды колебаний. Получены данные, описывающие поведение конкретного маятника, для обработки данных использовались определённые теоретические модели.

Цель настоящей статьи – экспериментальное исследование *вынужденных* механических колебаний, основанное на анализе данных скоростной цифровой фотосъёмки колебательного процесса. Описаны особенности установки для исследования вынужденных механических колебаний, приведены методика идентификации параметров данной колебательной системы, а также результаты экспериментов, их обработки и интерпретации. Как и для случая свободных колебаний, большое значение имеет именно получение характеристик, описывающих данную механическую систему: резонансной кривой, фазовых траекторий, идентификация основных параметров маятника и метода возбуждения. В заключительной части статьи приводятся данные об исследовании колебаний со многими степенями свободы (с двумя) и на основе экспериментальных данных проводится выделение отдельных колебательных мод.

Экспериментальная установка

Схема установки для исследования вынужденных колебаний в системе с одной степенью свободы показана на рис. 1,*а*. В качестве осцил-

лятора использовался физический маятник в виде металлического стержня *1* с грузом *8*, закреплённый на оси *3*. Для реализации вынужденных колебаний маятник *1* соединен с маятником *2* посредством двух одинаковых пружин *4* и скобы *5*. Маятник *2* приводится в движение эксцентриком *6*, закреплённым на валу двигателя с регулируемой частотой вращения. Для уменьшения амплитуды колебаний маятника *1* на его конце закреплён демпфер в виде пластмассового шара *7* с радиусом 1,5 см. Демпфер погружается в кювету с водой (на рисунке она не показана). На рис. 1,*б* приведена схема установки для исследования колебаний двух связанных маятников, использовавшаяся для анализа вынужденных колебаний в системах со многими степенями свободы.

Идентификация движений колебательной системы

Колебательный процесс снимался скоростной фотокамерой Basler WatchGuard A504kc. В качестве реперных точек использовались центры меток в виде плоских дисков с матовой поверхностью, закрепленных на грузе *8* и на месте крепления пружины *4* к скобе *5*. Первая метка служит для идентификации движения исследуемого маятника *1*, вторая – для идентификации движения маятника *2* (см. рис. 1). Методика идентификации координат реперных точек по данным фотосъёмки подробно рассмотрена в [2].

Теоретическая модель. В случае малых амплитуд колебания маятника описываются уравнением

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta\left(\frac{dx}{dt}\right) + \omega_0{}^2 x = -2\frac{k}{m}(x - x_f). \qquad (1)$$

Здесь x – горизонтальное отклонение маятника *1* от вертикального положения; x_f – горизонтальное отклонение маятника *2* от вертикального положения; $\delta\left(\frac{dx}{dt}\right)$ – слагаемое, отвечающее за диссипацию энергии; ω_0 – частота свободных колебаний маятника *1* при отсутствии связи с маятником *2* (пружины *4* отцеплены) и отсутствии диссипации; m – масса маятника *1;* k – жесткость каждой из пружин *4*. Уравнение (1) можно переписать:

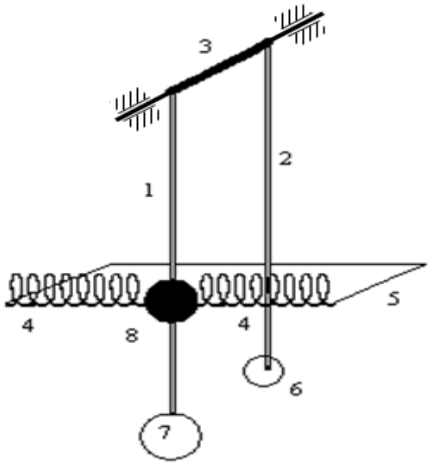
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta\left(\frac{dx}{dt}\right) + \omega^2 x = f(t), \qquad (2)$$

где $\omega^2 = \omega_0{}^2 + 2\frac{k}{m}$ – частота свободных колебаний маятника *1* при наличии связи с маятником *2* в случае жесткого закрепления последнего в вертикальном положении ($x_f = 0$), вынуждающая сила $f(t)$ имеет вид

$$f(t) = 2\frac{kx_f}{m} = 2\frac{kA_f}{m}\cos\left(pt + \phi_f\right), \qquad (3)$$

где A_f – амплитуда (определяемая длиной хода эксцентрика); ϕ_f – начальная фаза колебаний

а)



б)

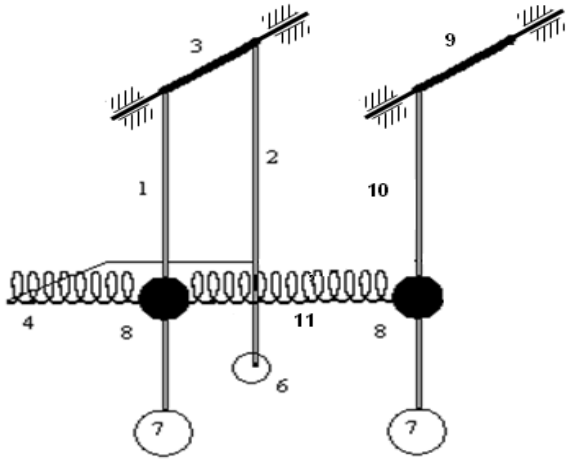


Рис. 1. Схемы экспериментальных установок

маятника *2*; p – частота вращения вала эксцентрика (частота вынуждающей силы).

Диссипация энергии, связанная с трением на оси и трением о воздух, пренебрежимо мала в сравнении с потерей энергии, вызванной движением демпфера *7* (см. рис. 1) в кювете с водой. Таким образом, вид зависимости $\delta\left(\frac{dx}{dt}\right)$ будет определяться исключительно гидродинамикой движения демпфера в воде.

Экспериментальные результаты. Для выяснения зависимости трения от скорости были исследованы свободные демпфированные колебания маятника *1* при жестком закреплении маятника *2* (см. рис. 1,*а*). Зависимость координаты от времени была аппроксимирована кривой $x(t) = x_m \cos(\omega t) e^{-\delta_0 t}$, являющейся решением уравнения (2) при отсутствии вынуждающей силы и линейной зависимости трения от скорости $\delta\left(\frac{dx}{dt}\right) = \delta_0 \frac{dx}{dt}$ (рис. 2,*а*).

Из рис. 2,*б* видно, что колебания нельзя описывать моделью с линейным трением. Характер движения шара в вязкой жидкости определяется числом Рейнольдса [4] $R = \frac{ur}{\nu}$, где u – скорость движения; r – радиус шара; ν – кинематическая вязкость жидкости.

Оценка числа Рейнольдса для исследуемого движения дает $R = \frac{5,4\ \text{см/с} \cdot 1,5\ \text{см}}{0,01\ \text{см}^2/\text{с}} = 810$ (в качестве скорости u взята половина максимального значения скорости, кинематическая вязкость воды составляет $0,01\ \text{см}^2/\text{с}$). При таких числах Рейнольдса движение жидкости вокруг шара становится турбулентным. При этом энергия затрачивается на образование вихрей, и сила трения пропорциональна квадрату скорости (турбулентное сопротивление) [5]. Таким образом,

$$\delta\left(\frac{dx}{dt}\right) = Q\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \operatorname{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right),$$

где Q – коэффициент пропорциональности. Применимость модели с квадратичным трением (с турбулентным сопротивлением) подтверждается результатом аппроксимации данных эксперимента решением нелинейного дифференциального уравнения

$$\frac{d^2x}{dt^2} + Q\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \operatorname{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right) + \omega^2 x = 0 \qquad (4)$$

при $\omega = 7,27$ рад/с , $Q = 0,065$ (см. рис **3**).

Для получения кривой поглощения (зависимость энергии установившихся вынужденных колебаний от частоты) и фазовой характери-

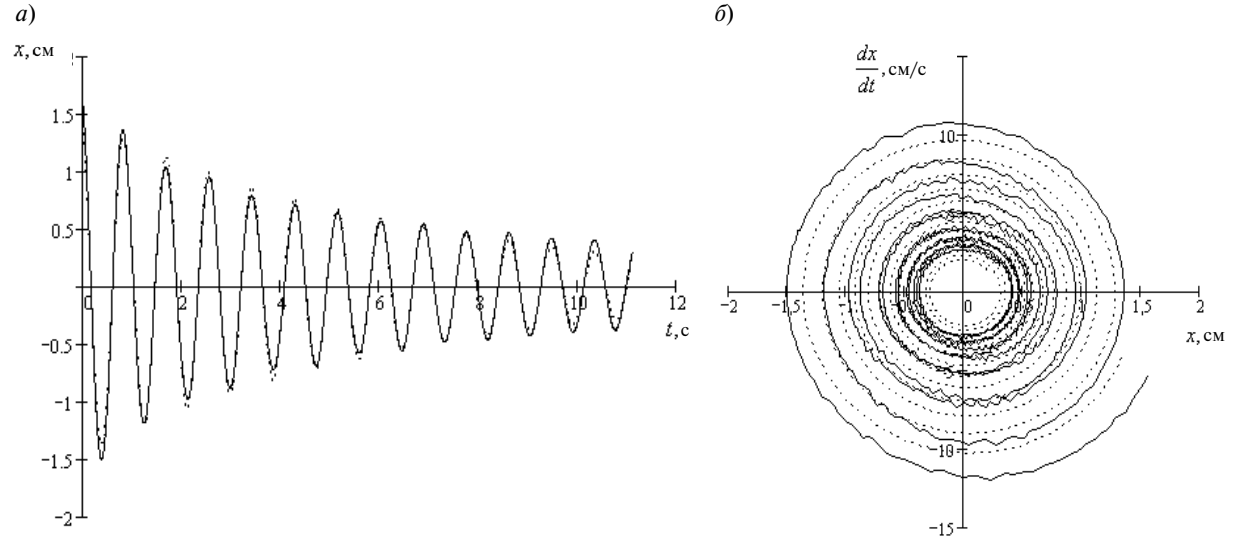


Рис. 2. Свободные демпфированные колебания: *а* – зависимость координаты от времени; *б* – фазовая траектория
Сплошная линия – эксперимент, пунктирная линия – результат аппроксимации линейным трением

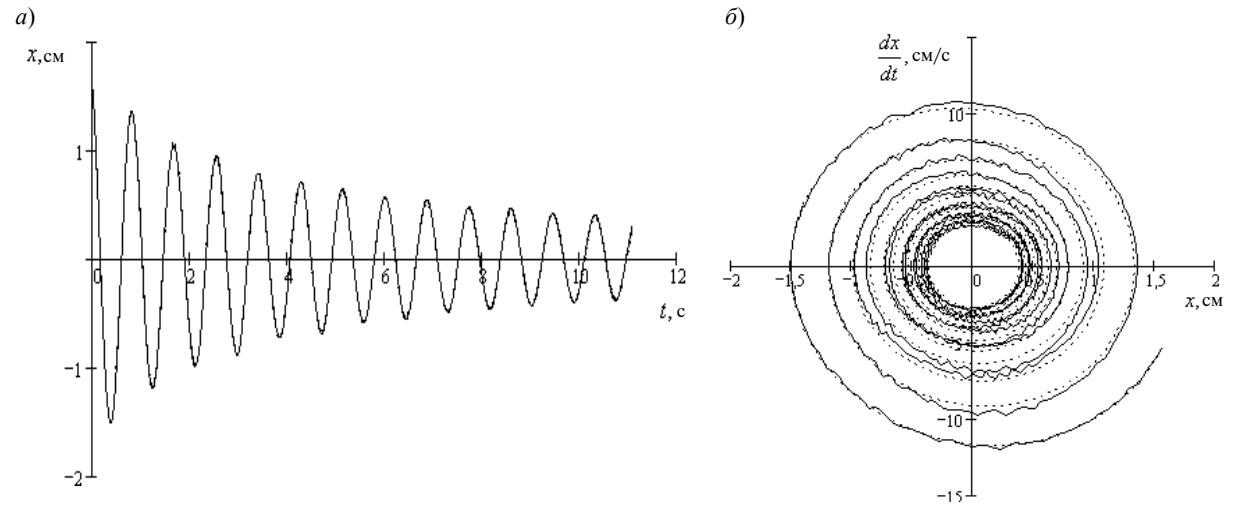


Рис. 3. Свободные демпфированные колебания: *а* – зависимость координаты от времени; *б* – фазовая траектория
(Сплошная линия – эксперимент, пунктирная линия – результат аппроксимации квадратичным трением)

стики системы (зависимость сдвига фаз между колебанием осциллятора и колебанием вынужденной силы) проводится серия экспериментов при различных частотах вращения вала эксцентрика *6* (см. рис. 1).

Частота изменений вынуждающей силы p определяется путем аппроксимации зависимости координаты центра метки, установленной в месте крепления пружины *4* к скобе *5* (см. рис. 1, а), кривой $x_f(t) = A_f \cdot \cos\left(p\,t + \phi_f\right)$, где A_f, ϕ_f – амплитуда и начальная фаза колебаний маятника 2. Для определения амплитуды и фазы вынужденных колебаний зависимость горизонтальной координаты исследуемого маятника *1* от времени аппроксимируется кривой $x(t) = A_x \cdot \cos\left(p\,t + \phi_x\right)$, где A_x, ϕ_x – амплитуда и начальная фаза колебаний маятника *1* (колебания мало отличаются от гармонических ввиду малости амплитуд вследствие сильного демпфирования). Из (3) следует, что сдвиг фаз ϕ между колебаниями осциллятора и вынуждающей силы равен $\phi_x - \phi_f$. Отношение энергии вынужденных колебаний к энергии вынужденных колебаний в случае резонанса равно $\frac{E}{E_{\text{рез}}} = \frac{{A_x}^2}{\max\left(A_x\right)^2}$, где $\max\left(A_x\right)^2$ – резонансное значение амплитуды (рис. 4).

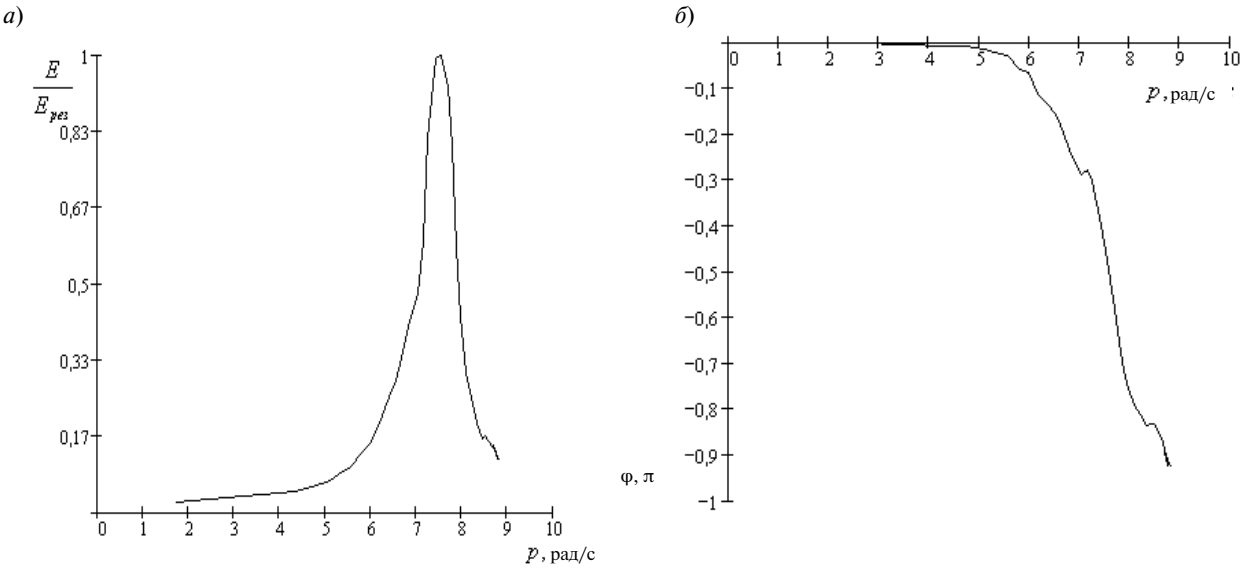


Рис. 4. Кривая поглощения (*а*) и фазовая характеристика (*б*)

На рис. 5 представлены графики переходного процесса (неустановившихся вынужденных колебаний) при частоте вынуждающей силы, равной резонансной. Рис. 5, *а* наглядно иллюстрирует процесс нарастания амплитуды колебаний с последующим выходом на резонансное значение (выход на предельный цикл).

В ходе экспериментов было выявлено, что поведение исследуемой системы (см. рис. 1, *а*) при отсутствии возбуждения описывается уравнением

$$\frac{d^2x}{dt^2} + Q\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 \operatorname{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right) + \omega^2 x = 0\,,$$

$$\omega = 7,27 \text{ рад/с}\,,\ Q = 0,065\,.$$

По экспериментальным данным были построены графики кривой поглощения и фазовой характеристики. Резонансная частота составила $p = 7,55$ рад/ с , при этом сдвиг фаз между колебаниями осциллятора и колебаниями вынуждающей силы составил $\phi = -0,48\pi$.

Исследование колебаний в системе с двумя степенями свободы

Модернизированный вариант установки (см. рис. 1, *б*) может применяться для исследования вынужденных колебаний в системе с двумя степенями свободы. Для этого на оси *9* закрепляется маятник *10*, соединенный с маятником *1* посредством пружины *11* (в случае закрепления дополнительного маятника на оси *3* невозможно будет идентифицировать метки на грузах *8* вследствие их перекрытия на кадре во время колебаний).

Свободные колебания системы двух связанных маятников. Поведение данной системы (см. рис. 1, б) в случае малых колебаний и при отсутствии связи с маятником, отвечающим за реализацию возбуждения (пружины *4* отцеплены), описывается уравнениями:

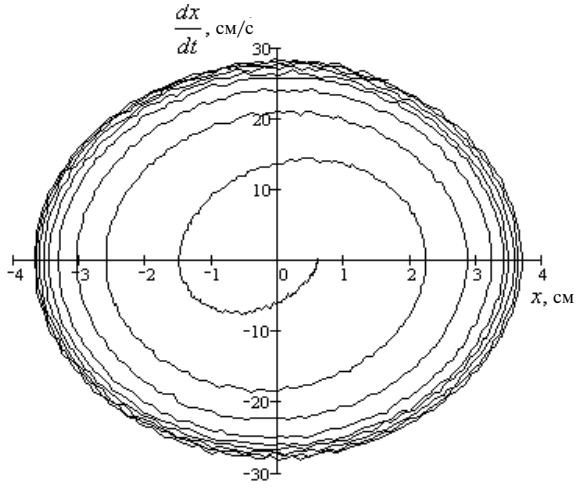
$$\frac{d^2x_1}{dt^2} + \delta\left(\frac{dx_1}{dt}\right) + {\omega_0}^2 \cdot x_1 = -\frac{k_2}{m}(x_1 - x_2)\ \ ; \qquad (5a)$$

$$\frac{d^2x_2}{dt^2} + \delta\left(\frac{dx_2}{dt}\right) + {\omega_0}^2 \cdot x_2 = -\frac{k_2}{m}(x_1 - x_2)\,, \qquad (5б)$$

где k_2 – жесткость пружины *11*; x_1, x_2 – координаты маятников.

При произвольных начальных условиях колебания маятников не будут гармоническими. В данной системе существует лишь два случая, когда колебания гармонические – нормальные моды (рис. 6). Одна из мод соответствует колебаниям при нерастянутой пружине связи (в начальный момент маятники отклонены на один и тот же угол), мода 2 – соответствует колебаниям, возникающим в системе при начальном отклонении маятников на противоположные значения углов.

а)



б)

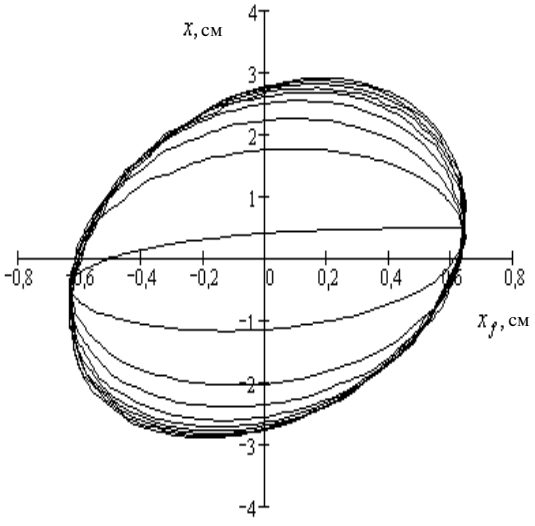
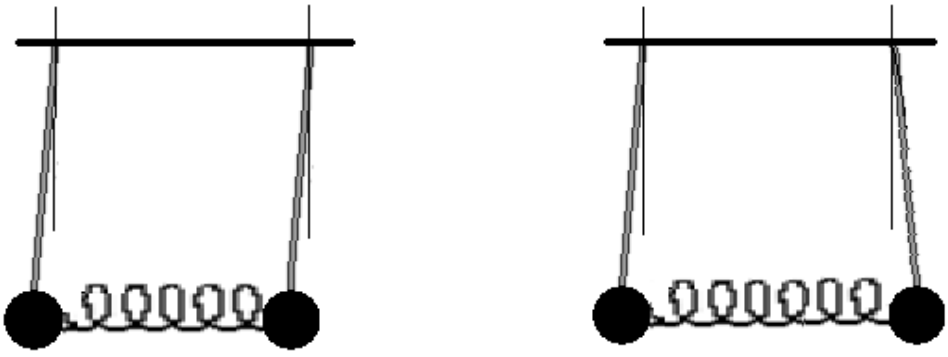


Рис. 5. Графики переходного процесса: *а* – фазовая траектория;
б – график зависимости координаты маятника *1* от координаты маятника *2*



Мода 1 Мода 2

Рис. 6. Нормальные моды колебаний

Для определения частот, соответствующих нормальным модам (нормальные частоты), можно использовать два метода. Первый основан на принудительном возбуждении нормальных мод путем задания соответствующих начальных условий и последующем определении частоты колебаний маятников.

Второй метод основан на анализе Фурье-спектра произвольного свободного колебания. Как известно, свободные колебания каждого из связанных маятников можно представить в виде суперпозиции двух гармонических колебаний с частотами, равными нормальным частотам. Таким образом, на Фурье-спектре колебаний должно наблюдаться два максимума, соответствующих нормальным частотам.

Нормальные частоты, определенные первым способом, составили $\omega_1 = 5,11$ рад/с , $\omega_2 = 6,48$ рад/с . На рис. 7 представлены свободные колебания в системе при отсутствии демпфирования (шары *7* не погружены в кювету с водой) и их Фурье-спектры.

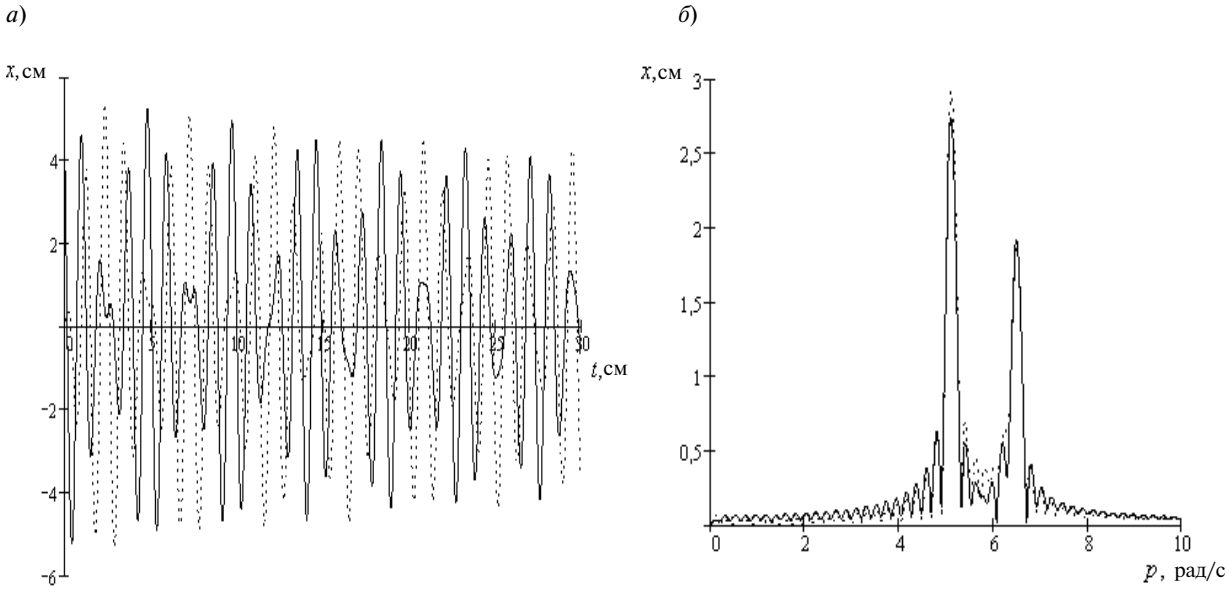


Рис. 7. Свободные колебания: *а* – зависимость координат от времени; *б* – Фурье-спектр
Сплошная линия – маятник *1*, пунктирная – маятник *2*

Максимумы в Фурье-спектре наблюдаются на нормальных частотах $\omega_1 = 5$ рад/с, $\omega_2 = 6,5$ рад/с.

Таким образом, видно, что оба метода определения нормальных частот дают одинаковый результат (погрешность меньше 1%). Однако на практике предпочтительнее использовать второй метод, т. к. первый требует точного задания начальных условий. Кроме того, во втором методе по отношению амплитуд максимумов на рис. 7, *б* могут быть определены линейные комбинации y_1, y_2 исходных x_1, x_2 координат, отвечающие за нормальные колебательные моды. Таким образом, задача сведется к анализу вынужденных колебаний двух независимых осцилляторов. Для исследуемой системы это преобразование имеет вид: $y_1 = x_1 + 1,029x_2$, $y_2 = 1,06x_1 - x_2$.

Вынужденные колебания связанных маятников. Наличие связи между маятником *1* и маятником, отвечающим за реализацию возбуждения (см. рис. 1, *б*), приведет к изменению нормальных мод. Данные моды можно определить предложенным выше способом при жестком закреплении маятника, связанного с эксцентриком. Установившиеся вынужденные колебания каждого маятника будут по частоте совпадать с частотой вынуждающей силы. По аналогии с вынужденными колебаниями одного маятника были получены кривые поглощения для каждого из осцилляторов, при этом наблюдаемые частоты максимумов поглощения соответствуют нормальным частотам колебаний.

Разработанная методика прецизионного анализа механических движений по данным скоростной цифровой фотосъёмки позволяет не только получить количественные и качественные характеристики самого движения, включая зависимости координат и скоростей от времени, но и идентифицировать параметры модели, используемой для описания движения. В дальнейшем мы предполагаем использовать её для анализа локомоторных движений искусственных и естественных объектов. Исследования вынужденных механических колебаний, представленные в данной статье, найдут применение в учебном физическом практикуме для постановки исследовательских магистерских работ по современной экспериментальной физике, а также для моделирования колебаний со многими степенями свободы в молекулярных и других системах.

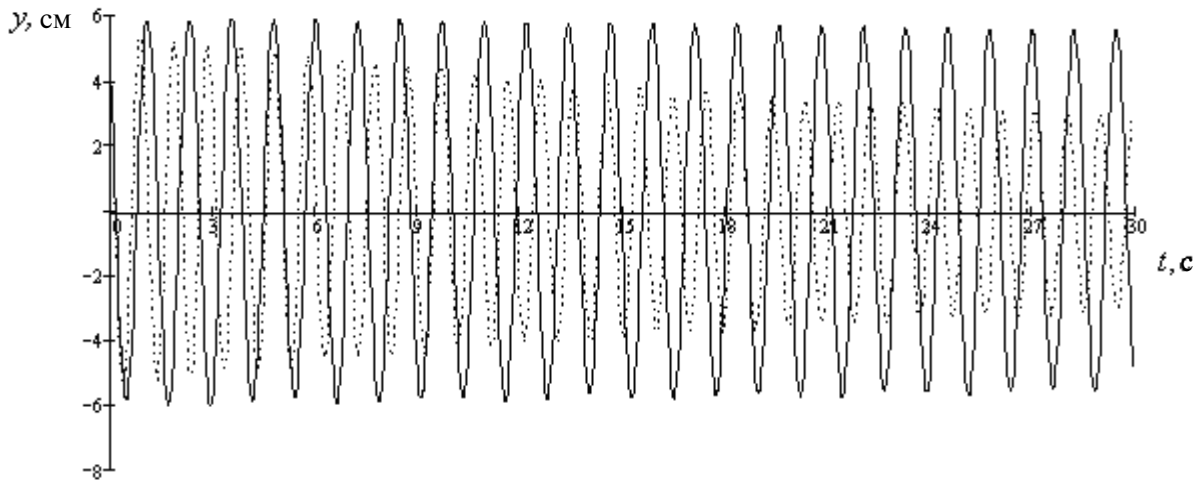


Рис. 8. Зависимость нормальных координат системы от времени
Сплошная линия – y_1, пунктирая – y_2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скляренко М.С., Сивков В.Г., Марценюк М.А.** Идентификация параметров механических колебаний по данным скоростной фотосъёмки // Компьютерное моделирование-2007. Тр. Междунар. науч.-техн. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2007. С. 66,67.

2. **Скляренко М.С., Марценюк М.А.** Экспериментальное исследование механических колебаний методом скоростной фотосъёмки // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2007. Т. 1, № 7. С. 167–174.

3. **Скляренко М.С.** Методы компьютерного видения в физическом эксперименте // Вестник Перм. ун-та. 2007. Вып. 10 (15). Информационные системы и технологии. С. 85–93.

4. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Теоретическая физика: Учеб. пособие для вузов. В 10 т. Т.6. Гидродинамика. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006.

5. **Магнус К.** Колебания: Введение в исследование колебательных систем: Пер. с нем. М.: Мир. 1982.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОНТАКТНЫЕ ДАННЫЕ

АКИМОВ Валерий Петрович – *профессор кафедры радиофизики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор физико-математических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 552-95-16

АЛЕКСАНДРОВ Владимир Владимирович – *профессор кафедры гражданского строительства и прикладной экологии Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор географических наук, старший научный сотрудник.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 297-59-28, e-mail aleksandrov_vlad@ mail.ru

АЛЕКСАНДРОВ Богдан Владимирович – *руководитель регионального бюро ООО "Моэллер Электрик" по Северо-Западному федеральному округу.*

125212, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 7. Тел. (495)730-60-60, e-mail abv_ra@mail.ru

АЛЕКСАНДРОВ Дмитрий Владимирович – *доцент кафедры общей физики Санкт-Петербургского государственного технологического института (технический университет).*

190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26

АМБРАЖЕЙ Антон Николаевич – *заместитель начальника отдела международных научных проектов, доцент кафедры "Распределенных интеллектуальных систем" Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат физико-математических наук, MBA.*

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28. Тел. (812) 606-62-23, e-mail ambrajei@imop.spbstu.ru

АНТОНОВ Валерий Иванович – *заведующий кафедрой высшей математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, профессор.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 5526750, e-mail antonovvi@ mail.ru

АРСЕНЬЕВ Дмитрий Германович – *проректор по академической и международной деятельности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, профессор.*

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28. Тел. (812) 534-10-01, e-mail newton@imop.spbstu.ru

АТИСКОВ Алексей Юрьевич – *аспирант лаборатории информационно-вычислительных систем и проблем защиты информации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН.*

199178, Санкт-Петербург, 14-я линия ВО, д. 39. Тел. (812) 328-33-11, ф. (812) 328-44-50, e-mail atiskov@gmail.com

БЕЛЬЧЕНКО Юрий Григорьевич – *студент кафедры радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, 2-й учеб. корп., ауд. 440. Тел./факс (812) 552-95-16, e-mail beltchenko@yandex.ru

БУЗЮКОВА Ирина Львовна – *аспирант кафедры сетей связи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича.*

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. Тел. (812) 324-83-89, e-mail irbuz@mail.ru

БУТУСОВ Денис Николаевич – *аспирант кафедры систем автоматизированного проектирования Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.*

197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5. Тел. (812) 234-36-75

ВАСИЛЬКОВ Сергей Дмитриевич – *старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной механики Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.*

197101, Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, д. 49, ауд. 19. Тел (812) 233-5898, e-mail vasilkovsd@mail.ru

ВЕТРИНСКИЙ Юрий Анатольевич – *доцент кафедры радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук, доцент.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 552-76-39, e-mail vetrinsky@mail.spbstu.ru

ГАРИФУЛЛИН Руслан Аданисович – *инженер первой категории кафедры компьютерной математики Уфимского государственного авиационного технического университета, аспирант.*

45000, г.Уфа, ул. К. Маркса, д.12. Тел. (347) 273-32-00, e-mail garzi@yandex.ru

ГЕБЕЛЬ Елена Сергеевна – *старший преподаватель кафедры автоматизации и робототехники Омского государственного технического университета.*

644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11. Тел. (3812) 65-21-76, ф. (3812) 65-26-98, e-mail gebel_es@mail.ru

ГЛЫБОВСКИЙ Станислав Борисович – *студент кафедры радиофизики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 552-95-16, e-mail sgbs@mail.ru

ГОЛЛАНДЦЕВ Юрий Алексеевич – *заведующий кафедрой интегрированных компьютерных технологий в промышленности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, профессор.*

194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21. Тел. (812) 552-61-77, e-mail gollandzev@ipi/neva.ru

ГОЛОВИН Никита Михайлович - *начальник отдела международных научных проектов, руководитель Академического центра компетенции SAP Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.*

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28. Тел. (812) 606-62-23, e-mail ngolovin@imop.spbstu.ru

ГРИГОРЬЕВА Ирина Олеговна – *аспирант кафедры прикладной информатики в экономике Астраханского государственного технического университета.*

414025, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16, Тел. (8512) 61-45-08, e-mail orange8@mail.ru

ГРИШИН Илья Владимирович – *старший преподаватель кафедры многоканальных систем передачи Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича.*

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. Тел. (812) 315-16-10, e-mail Msp_sut@list.ru

ДУБЕНЕЦКИЙ Владислав Алексеевич – *доцент кафедры интегрированных компьютерных технологий в промышленности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.*

194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21. Тел. (812) 552-61-77

ДЬЯЧЕНКО Алексей Владимирович – *инженер IT, ГОУ Центр Образования "Технологии Обучения".*

109004, Москва, ул. Нижняя Радищевская, д. 10. Тел.(495) 502-30-72, e-mail alex-pub@my-site.ru

ЕВНЕВИЧ Елена Людвиговна – *старший научный сотрудник лаборатории информационно-вычислительных систем и проблем защиты информации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, кандидат физико-математических наук.*

199178, Санкт-Петербург, 14-я линия ВО, д. 39. Тел. (812) 328-33-11, факс (812) 328-44-50

ЖУКОВ Константин Георгиевич – *доцент кафедры систем автоматизированного проектиро-*

вания Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, кандидат технических наук.

197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5. Тел. (812) 234-36-75, e-mail k.g.zhukov@gmail.com

ЗАГАЙНОВ Артем Игоревич – *ассистент кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail zagainov239@gmail.com

ЗИНКОВСКАЯ Анастасия Владимировна – *аспирант кафедры телекоммуникаций безопасности телекоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича.*

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. Тел. (812) 315-83-47, e-mail znastya@list.ru

ИВАНОВ Сергей Владимирович – *преподаватель кафедры физического воспитания и спорта Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.*

197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5. E-mail Yivanov1@rambler.ru

КЛИМЕНКО Елена Сергеевна – *старший преподаватель кафедры компьютерной безопасности Ставропольского государственного университета.*

355000, г. Ставрополь, ул. Лопырина, д. 63. E-mail rosenko@stavsu.ru

КОВАЛЕНКО Анатолий Николаевич – *профессор кафедры высшей математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail ank@isc.nw.ru

КОВАЛЕНКО Дмитрий Сергеевич – *аспирант кафедры информатики и методики преподавания информатики Нижневартовского государственного гуманитарного университета*

Нижневартовск, ул. Дзержинского, д.13, корп.4. Тел. 8 (3466) 44-39-50, e-mail kovalenko@com.nvavia.ru

КОЛЕСОВ Юрий Борисович – *профессор кафедры распределенных и компьютерных сетей Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

КОНЕВ Даниил Николаевич – *младший научный сотрудник, ассистент кафедры информационных систем и радиотехники Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса, аспирант.*

346500, г. Шахты, Ростовской обл., ул. Шевченко, д. 147. e-mail KonevDN@ya.ru

КОНОНОВ Николай Александрович – *аспирант кафедры информационных и управляющих систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail nikolay.kononov@gmail.com

КОРЖИК Валерий Иванович – *профессор кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича, доктор технических наук, профессор.*

191186, г. Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. Тел. (812) 315-83-47

МАКАРОВА Елена Анатольевна – *доцент кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, кандидат технических наук, докторант.*

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12. Тел. (347) 273-78-35, e-mail ea-makarova@mail.ru

МАНЖУЛА Владимир Гавриилович – *доцент кафедры информационных систем и радиотехники Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса, кандидат технических наук.*

346500, г. Шахты, Ростовской обл., ул. Шевченко, д. 147. Тел. (8636) 23-72-22 (доб. 2033), e-mail manjula@sssu.ru

МАРЦЕНЮК Михаил Андреевич – *заведующий кафедрой компьютерных систем и телеком-*

муникаций Пермского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

614090, г. Пермь, Букирева, д. 15. Тел. (342) 239-64-50

МОРОЗОВ Сергей Анатольевич – *ассистент кафедры информационных систем и радиотехники Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса, аспирант.*

346500, г. Шахты Ростовской обл., ул. Шевченко, д. 147. Тел. (8636) 23-72-22 (доб. 2033), e-mail morozov@sssu.ru

НАГОРНЫЙ Владимир Степанович – *профессор кафедры транспортных и технологических систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки Российской Федерации.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел (812) 552-60-88, e- mail nagorny@jet.hop.stu.neva.ru

ПАШКОВСКИЙ Александр Владимирович – *доцент кафедры информационных систем, электропривода и автоматики Невинномысского технологического института (филиал ГОУ ВПО СевКавГТУ) кандидат технических наук.*

357100, г. Невинномысск, Ставропольский край, ул. Гагарина, д. 1. E-mail alecsandr_607@rambler.ru

ПЕТРОВ Геннадий Николаевич – *доцент кафедры теории механизмов и машин Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. E-mail gnpet@mail.ru

ПИВАРЕЛИС Любовь Леонидовна – *выпускник кафедры телекоммуникаций безопасности телекоммуникационных систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича.*

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. Тел. (812) 315-83-47

ПОБЕДАШ Павел Николаевич – *докторант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета.*

660014, г. Красноярск, пр. им. газеты "Красноярский рабочий", д. 31. Тел. (3912) 91-91-41, e-mail pobed_pnp@mail.ru

ПОПОВ Алексей Эдуардович – *доцент кафедры информационных систем и радиотехники Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса, кандидат технических наук.*

346500, г. Шахты Ростовской обл., ул. Шевченко, д. 147. Тел. (8636) 23-72-22 (доб. 2033), e-mail popov@sssu.ru

ПОПКОВА Алла Алексеевна – *старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий Норильского индустриального института.*

663310, г. Норильск, ул. 50-лет Октября, д. 7. Тел. (3919) 42-17-39, факс (3919) 42-17-41, e-mail infalla@bk.ru

ПОТАПОВА Елена Сергеевна – *магистрант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Астраханского государственного технического университета.*

414025, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16. Тел. (8512) 61-45-08, e-mail lena_lane@rambler.ru

ПРОКОПЕНКО Николай Николаевич – *заведующий кафедрой информационных систем и радиотехники Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса (ЮРГУЭС). Заведующий Проблемной лабораторией перспективных технологий и процессов Центра исследований проблем безопасности РАН и ЮРГУЭС. доктор технических наук, профессор.*

346500, г. Шахты Ростовской области, ул. Шевченко, д. 147. Тел: (8636) 22-20-37, e-mail Prokopenko@sssu.ru

ПЩЕЛКО Николай Сергеевич – *доцент кафедры общей и технической физики Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета), кандидат технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 328-82-06, e-mail nikolsp@mail.ru

РОДИНА Светлана Михайловна – *заведующий кафедрой математики и прикладной информатики Орехово-Зуевского филиала Российского нового Университета, соискатель.*

Московская область, г. Орехово-Зуево, ул. Ленина, д. 86. Тел. (4964) 16-92-34, (4964) 16-93-04

РОСЕНКО Александр Петрович – *заведующий кафедрой компьютерной безопасности Ставропольского государственного университета, кандидат технических наук.*

355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1. Тел. 8(8652) 94-13-81, e-mail rosenko@stavsu.ru

САРАДЖИШВИЛИ Сергей Эрикович – *доцент кафедры информационных и управляющих систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

СЕНИЧЕНКОВ Юрий Борисович – *профессор кафедры распределённых вычислений и компьютерных сетей Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технический наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 297-16-39

СЕРЕБРЯКОВ Александр Игоревич – *студент механико-радиотехнического факультета Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса.*

346500, г. Шахты, Ростовской области, ул. Шевченко, д. 147. Email sashaag@mail.ru

СИВКОВ Владимир Григорьевич – *доцент кафедры общей физики Пермского государственного университета.*

614990, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15. Тел. (342) 235-53-22

СИДОРОВ Юрий Евгеньевич – *профессор кафедры радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, 2-й учеб. корп., ауд. 440. Тел./факс (812)552-95-16, e-mail jusidorov@mail.ru

СИДОРОВА Наталья Петровна – *студентка Санкт-Петербургского государственного горного института (технического университета).*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 328-82-06

СКЛЯРЕНКО Максим Сергеевич – *аспирант кафедры компьютерных систем и телекоммуникаций Пермского государственного университета.*

614990, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15. Тел. (342) 235-53-22, e-mail sklyarenko-ms@perm.usi.ru

СОЛОНИН Евгений Владимирович – *доцент кафедры автоматизации и робототехники Омского государственного технического университета, кандидат педагогических наук.*

644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11. Тел. (3812) 65-21-76, факс (3812) 65-26-98, e-mail solonin_ev@mail.ru

СОРОЦКИЙ Владимир Александрович – *доцент кафедры радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Тел. (812) 552-76-79, моб. тел. 8-921-3465518, e-mail sorotsky@mail.spbstu.ru

ТАРАТУХИН Виктор Владимирович – *директор программ партнерства с вузами, регион СНГ, Скандинавия и Восточная Европа, SAP AG, кандидат технических наук.*

115054 Москва, Космодамианская наб., д. 52/2. Тел. (495) 755-9800, e-mail victor.taratoukhine@sap.com

УЛЫБИН Алексей Владимирович – *старший преподаватель кафедры технологии, организации и экономики строительства Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 204. Тел. (812) 535-57-82, e-mail ulybin@mail.ru

ФЁДОРОВ Виталий Валерьевич – *аспирант Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-*

Бруевича, ведущий специалист INTELVISION Engineering.

191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 61. Тел. (812) 7144083

ФОМИЧЕВА Светлана Григорьевна – *заведующая кафедрой информационных систем и технологий Норильского индустриального института, кандидат технических наук, доцент.*

663310, г. Норильск, ул. 50-лет Октября, д. 7. Тел. (3919) 42-17-39, факс (3919) 42-17-41, e-mail levikha@rambler.ru

ХАНОВА Анна Алексеевна – *докторант кафедры прикладной информатики в экономике Астраханского государственного технического университета, кандидат технических наук, доцент.*

414025, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16. Тел. (8512) 61-45-08, e-mail akhanova@mail.ru

ХЛУДОВА Марина Васильевна – *доцент кафедры телематики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая д. 29. E-mail khludova@mail.neva.ru

ХОМЧЕНКО Василий Герасимович – *заведующий кафедрой автоматизации и робототехники Омского государственного технического университета, доктор технических наук, профессор.*

644050, Омск, пр. Мира, д. 11. Тел. (3812) 65-21-76, факс (3812) 65-26-98

ЦИКИН Игорь Анатольевич – *заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук, профессор.*

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, корп. 2. Тел. 552-61-89, e-mail tsikin@mail.spbstu.ru

ЦУПРИКОВ Александр Александрович – *доцент кафедры информатики Кубанского государственного технологического университета, кандидат технический наук.*

350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2. Тел. (861) 255-03-91, e-mail tsouprikov@mail.ru

ЧЕРЕДНИЧЕНКО Владимир Григорьевич – *старший преподаватель кафедры физики Кубанского государственного технологического университета.*

350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2. Тел. (861) 255-03-91

ШКОДЫРЕВ Вячеслав Петрович – *начальник Управления международного сотрудничества, заведующий кафедрой распределенных интеллектуальных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор технических наук.*

195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 28. Тел. (812) 534-10-02, e-mail shkodyrev@imop.spbstu.ru

АННОТАЦИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Сидоров Ю. Е., Бельченко Ю. Г. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА.

Рассмотрен ранговый обнаружитель оптического сигнала при априорной неопределённости. Методом статистического имитационного моделирования оценена помехоустойчивость обнаружения сигнала.

ОБНАРУЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА. АПРИОРНАЯ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ. РАНГОВЫЕ КРИТЕРИИ. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Коржик В. И., Зинковская А. В., Пиварелис Л. Л. ТОЧНАЯ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ФОРМАТЕ JPEG.

Рассмотрены основные цели точной аутентификации цифровых изображений. Предложен алгоритм точной аутентификации применительно к цифровым изображениям в формате JPEG и методом моделирования оценена его эффективность.

ТОЧНАЯ АУТЕНТИФИКАЦИЯ. ЦИФРОВЫЕ ВОДЯНЫЕ ЗНАКИ. ЦИФРОВАЯ ПОДПИСЬ. НАИМЕНЬШИЕ ЗНАЧАЩИЕ БИТЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ. ФОРМАТ JPEG.

Жуков К. Г., Бутусов Д. Н. АНАЛИЗ И КОРРЕКЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАТОРОВ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.

Рассмотрен новый численный метод интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), основанный на замене исходной непрерывной системы эквивалентной несинхронной импульсной системой. Представлен вывод аналитических выражений, которые позволяют устранить методическую погрешность численных формул интегрирования (квадратурных формул) для известных входных сигналов. Приведены компьютерные модели нового метода, реализованные в инструментальных системах MATLAB/ Simulink и LabVIEW/ Simulation Module.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ИНТЕГРИРОВАНИЯ. МЕТОДИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ. ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ. МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПАКЕТЫ.

Жуков К. Г., Бутусов Д. Н. РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ.

Предложен новый подход к аппаратной реализации цифрового фильтра, основанный на том, что аналоговый фильтр является управляемой динамической системой. Приведены компьютерные модели фильтров, реализованные в инструментальной системе LabVIEW/ Simulation Module.

АНАЛОГОВЫЙ ФИЛЬТР. ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ. ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ. ПРЯМОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. СОВМЕСТНОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПАКЕТЫ.

Кононов Н. А., Сараджишвили С. Э. МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ СЛОЁВ НА ОТСКАНИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ.

Представлена новая разработанная методика выделения цветовых слоёв на отсканированных изображениях топографических карт. Методика характеризуется малыми затратами ручного труда, малым временем обработки и хорошим качеством получаемых результатов.

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ. ВЫДЕЛЕНИЕ ЦВЕТОВЫХ СЛОЁВ. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ.

Акимов В. П., Глыбовский С. Б. ВЛИЯНИЕ СЕТЧАТЫХ ЭКРАНОВ НА ПАРАМЕТРЫ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН.

Рассмотрены проблемы теоретического представления экономического потенциала предприятия как экономического субъекта. Предложены процедуры и методика количественной оценки потенциала предприятия для практического применения в сфере предпринимательства.

ВИБРАТОРНАЯ АНТЕННА. СЕТЧАТЫЙ ЭКРАН. ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ. МЕТОД МНИМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

Александров В. В., Александров Д. В., Александров Б. В. ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ТЕХНОСФЕРЕ И ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ ЭКОСИСТЕМ.

Рассмотрено экспериментальное обоснование искажения реального магнитного поля **Bz** в системе сотовой радиотелефонной связи. Показано восприятие рыбами на поведенческом уровне действия высокочастотного электромагнитного излучения (ЭМИ) в ближней зоне телефонных аппаратов (ТА) и зафиксированы ответные реакции: двигательная активность ***in vivo*** (ДА). Выявленные патологические показатели поведения могут быть учтены в медицинской практике, разработке регламентирующих критериев безопасности для населения.

СОТОВАЯ ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ. ГЕОМАГНЕТИЗМ. БИОРИТМЫ. ФУРЬЕ-АНАЛИЗ. РЫБЫ ВИДА **CARASSIUS** AURATUS. **ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ IN VIVO.**

Прокопенко Н. Н., Конев Д. Н., Серебряков А. И. СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ НУЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ С МЕСТНОЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ В УСЛОВИЯХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.

Предложена концепция синтеза аналоговых микросхем с малым напряжением смещения нуля при радиационных и температурных воздействиях.

РАДИАЦИЯ. НАПРЯЖЕНИЕ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ. ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ. СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ.

Александров В. В., Александров Б. В. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА СПЕКТРА ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТОВ СОТОВОЙ СВЯЗИ.

Рассмотрено искажение естественного геомагнитного поля $\mathbf{B_z}$ в ближней зоне телефонных аппаратов (ТА) различных промышленных конструкций, в различных режимах функционирования. Показано, что длительное воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) современных элементов сотовой связи на нейрональные реакции мозга может привести к патологическим явлениям и процессам.

СОТОВАЯ ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ. ГЕОМАГНЕТИЗМ. БИОРИТМЫ. ФУРЬЕ-АНАЛИЗ.

Дьяченко А. В., Манжула В. Г., Попов А. Э., Морозов С. А. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ.

Приведены возможные подходы к построению обобщённых моделей распределённой образовательной системы на основе Интернет-технологий. Предложен минимальный перечень процессов, подлежащих рассмотрению в процессе создания системы, определены параметры, влияющие на выбор детализации карты процессов. Приведены данные по реализации указанных подходов на примере широко распространённой платформы дистанционного обучения Moodle.

УПРАВЛЕНИЕ. ОБРАЗОВАНИЕ. УЧЕБНАЯ СРЕДА. МОДЕЛЬ.

Победаш П. Н. АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНЫМИ ИНВЕСТИЦИЯМИ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОГО ПОДХОДА.

Приведены оценки оптимального значения свертки в модели оптимального управления реальными инвестициями с неопределённым спросом с двумя экономическими агентами – производителем и налоговым центром, полученные на основе операторного подхода. Данный подход позволяет оценивать эффективность инвестиционного проекта на этапе его предварительного анализа и доказывать теоремы существования решения в соответствующих задачах оптимального управления.

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОЕКТ. МНОГОШАГОВАЯ ЗАДАЧА ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ.

Иванов С. В. РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ.

Рассмотрены разработка и реализация алгоритмов матрицы для программы в информационно-измерительных и телекоммуникационных системах. Показано, что реализация алгоритмов в программе позволяет выполнять основные операции движения элементов, а также осуществлять работу в информационно-измерительных и телекоммуникационных системах.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА. ПРОГРАММА. АЛГОРИТМ.

Макарова Е. А. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработан программный комплекс, обеспечивающий автоматическое выполнение серии имитационных экспериментов в соответствии с планом и формирование базы экспериментальных данных о динамике поведения макроэкономической системы. Предложенная процедура формирования базы экспериментальных данных реализована в средах *MATLAB и MS SQL Server*.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. ИМИТАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. БАЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. АНАЛИЗ ДАННЫХ.

Родина С.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ ОЦЕНКЕ НЕДВИЖИМОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЖИЛЬЯ)

В статье описан метод оценки недвижимости на основе аппарата нечёткой логики. Для реализации оценки стоимости жилья использован инструментарий fuzzy Logic среды MatLab.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ, СТОИМОСТЬ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ; НЕЧЁТКАЯ ЛОГИКА.

Коваленко Д.С. МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ОДНОРОДНОЙ СРЕДЫ КОММУТАЦИОННЫХ АГЕНТОВ

Представлена модель взаимодействующих коммуникационных агентов со случайным числом связей и радиусом взаимодействия. Получены зависимости характеристик модели от угла коммуникационной среды. Применимость модели для расчёта характеристик сетей сбора диагностической информации обусловлена распределённостью и критериями сложности промышленных комплексов.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГЕНТ, КОММУТАЦИОННАЯ СРЕДА.

Хлудова М. В. СИНХРОНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.

Рассмотрены проблемы неконтролируемой инверсии приоритетов в работе распределённых приложений реального времени. Определены факторы, влияющие на длительность возможных блокировок.

СИНХРОНИЗАЦИЯ. РЕСУРСЫ. ПРИЛОЖЕНИЕ. РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ. БЛОКИРОВКИ.

Росенко А. П., Клименко Е. С. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ЗАВИСИМЫХ ВНУТРЕННИХ УГРОЗ.

Обосновано применение Марковских случайных процессов с дискретными состояниями для оценки безопасности конфиденциальной информации с учётом воздействия на автоматизированную информационную систему зависимых внутренних угроз. Представлена математическая модель данного процесса и результаты математического моделирования. Сформулированы выводы и практические рекомендации.

ВНУТРЕННИЕ УГРОЗЫ. КОНФИДЕНЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ. МАРКОВСКИЕ СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Гришин И. В. АЛГОРИТМ КОМПЕНСАЦИИ МЕЖСИМВОЛЬНОЙ И МЕЖКАНАЛЬНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЙ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ С DMT.

Предложен алгоритм адаптивной обработки сигналов DMT, отвечающий требованиям малой вычислительной сложности. Разработан алгоритм формирования тестовой последовательности, позволяющий значительно ускорить процедуру поиска оптимальных параметров адаптивного эквалайзера.

МНОГОЧАСТОТНЫЙ ДИСКРЕТНЫЙ СИГНАЛ. ЗАЩИТНЫЙ ИНТЕРВАЛ. МЕЖСИМВОЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ. МЕЖКАНАЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦЯ. АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ.

Бузюкова И. Л. МОДЕЛЬ СИГНАЛЬНОГО ТРАФИКА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ НА ПРИМЕРЕ УСЛУГИ "БЕСПЛАТНЫЙ ВЫЗОВ".

Рассмотрена математическая модель сигнального трафика в интеллектуальных сетях связи на основе теории сетей BCMP. Предложена методика расчёта задержек, возникающих в ходе установления соединения для интеллектуальной услуги. В качестве примера для проведения численного анализа выбрана услуга "Бесплатный вызов" (Freephone) из Набора возможностей 1 (Capability Set 1).

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕТЬ. СЕТИ BCMP. МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЗАДЕРЖКА ВРЕМЕНИ УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ.

Антонов В. И., Загайнов А. И., Коваленко А. Н. ДИНАМИЧЕСКИЙ ТРЕНД КОРРЕЛЯЦИОННОЙ РАЗМЕРНОСТИ КАК ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМА.

Дан краткий обзор результатов современных исследований холтеровского мониторирования ЭКГ, использующих методы нелинейного анализа. Показано, что на данный момент в области неотложной кардиологии эти методы представляют преимущественно исследовательский интерес, их применение ограничено. Отмечена необходимость учитывания изменений фрактальных характеристик в зависимости от состояния биологической системы. Приведены результаты расчётов основных детерминировано-хаотических показателей в течение суток для нескольких пациентов различного возраста и продемонстрированы закономерности в их поведении.

ХОЛТЕРОВСКОЕ МОНИТОРИРОВАНИЕ ЭКГ. ВНЕЗАПНАЯ ОСТАНОВКА СЕРДЦА. ФИБРИЛЛЯЦИЯ ЖЕЛУДОЧКОВ. КОРРЕЛЯЦИОННАЯ РАЗМЕРНОСТЬ. ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ. НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА СЕРДЕЧНОГО РИТМА. ИНФОРМАЦИОННАЯ ШЕННОНОВСКАЯ ЭНТРОПИЯ.

Ханова А. А., Григорьева И. О., Потапова Е. С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГРУЗОВОГО ПОРТА).

Описана концепция оценки эффективности деятельности грузового порта на основе сбалансированной системы показателей (ССП) и имитационного моделирования. Выявлены показатели СПП грузового порта по четырём перспективам: финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие. Приведено описание разработанной имитационной модели грузового порта на основе пакет Arena.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СБАЛАНСИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ. ГРУЗОВЫЕ ПОРТЫ.

Атисков А. Ю., Евневич Е. Л. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ К ЗАДАЧЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ДИАГРАММ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.

Показана возможность математического описания процесса трансформации диаграмм бизнес-процессов в диаграммы классов UML. Приведены иллюстрации для графовых преобразований в соответствии с теорией, предложенной профессором Гартмутом Эхригом. Дано описание правил трансформации для прямого манипулирования данными в онтологическом формате на основе технологии, предложенной авторами. Сформулирован алгоритм для адаптации технологии к современной нотации описания бизнес-процессов WS-BPEL.

ЯЗЫКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ. ГРАФ. ТРАНСФОРМАЦИЯ. БИЗНЕС-МОДЕЛИРОВАНИЕ. IDEF0. UML. BPEL.

Макарова Е. А. ДИНАМИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ И БАНКА ПРИ ПОГАШЕНИИ КРЕДИТА.

Разработана динамическая модель погашения банковского кредита, являющаяся компонентом имитационной модели реализации инвестиционного проекта на предприятии. Программная реализация модели выполнена с помощью блока типа “S-function” компонента Simulink в среде MATLAB, обеспечивающего хранение нужной информации о состоянии процесса реализации инвестиционного проекта в прошлом.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ИНВЕСТИЦИИ. ДЕНЕЖНЫЕ ПОТОКИ. ГРАФИК ПЛАТЕЖЕЙ.

Пашковский А. В. РЕШЕНИЕ ТЕСТОВЫХ ПОЛЕВЫХ ЗАДАЧ В КУСОЧНО-ОДНОРОДНОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Предложены результаты решения модельных полевых задач аналитическим и численными методами. Рассмотрены достоинства и перспективы использования метода стандартных элементов.

МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. МЕТОД СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ. КРАЕВЫЕ ПОЛЕВЫЕ ЗАДАЧИ. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ.

Цуприков А. А., Чередниченко В. Г. РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЕ ПРИ ПОСАДКЕ НА ЗАБОЙ

Выполнено математическое моделирование посадки бурильной колонны на забой в среде Matlab 7.5. Исследованы переходные процессы, вызванные деформациями и нагрузками колонны в сечениях её длины. Получены кривые вида и продолжительности переходных процессов. Установлено, что амплитуда переходных процессов в 1,5 раза больше веса колонны, а длительность достигает 3,5 мин.

МОДЕЛИРОВАНИЕ. БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА. ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС. ДЕФОРМАЦИЯ. НАГРУЗКА. ДЛИТЕЛЬНОСТЬ. АМПЛИТУДА.

Улыбин А. В., Васильков С. Д. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗИСТИВНОГО ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.

Исследовано влияние одноосных напряжений растяжения–сжатия на эффективное удельное сопротивление (ЭУС), измеряемое в поверхностном слое стальных образцов. Измерения приводились резистивным электроконтактным неразрушающим методом в диапазоне нагрузок от 0,0 до 0,8 предела текучести. Показано, что при нагрузках ЭУС меняется линейным образом, а зависимость имеет гистерезисный вид при многоцикловой нагрузке.

НАПРЯЖЕНИЕ. СТАЛЬ. УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.

Федоров В. В. К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ "ИТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗДАНИЯ".

Рассмотрены проблемы стандартного подхода к строительству зданий и сооружений. Изложены основные принципы и преимущества концепции **"Интеллектуальное здание".**

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ЗДАНИЕ. УМНЫЙ ДОМ. ПРОТОКОЛЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗДАНИЯ.

Нагорный В. **С., Пщелко Н. С. Сидорова Н. П. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ** ЭЛЕКТРОАДГЕЗИОННОГО КОНТАКТА.

Рассмотрены зависимости параметров электроадгезионного контакта от времени. Получены выражения, позволяющие обоснованно выбирать время формирования электроадгезионного контакта, рассчитаны напряжённости электростатических полей и сил в динамике.

АДГЕЗИЯ. ДИНАМИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ.

Ветринский Ю. **А., Сороцкий В. А., Цикин И. А. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РАЗРА**БОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ФОРМАТАХ *IMS* и *SCORM.*

Представлены международные стандарты упаковки электронных образовательных ресурсов, обеспечивающие совместимость учебных курсов и объектов с широкой номенклатурой программных систем управления обучением. Проведен краткий обзор инструментальных средств, предназначенных для разработки электронных образовательных ресурсов в соответствии со стандартами *IMS* и *SCORM.*

МАНИФЕСТ. МЕТАДАННЫЕ. ЭЛЕКТРОННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС. ПАКЕТ. РЕДАКТОР КУРСОВ. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ. СТАНДАРТ.

Голландцев Ю. **А., Дубенецкий В. А. О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ** СИСТЕМ КЛАССА **ERP ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ВУЗЕ.**

Рассмотрены особенности применения информационных систем класса **ERP для создания систем управ**ления образовательным процессом в вузе. Предложено трактовать *Образовательную программу* в вузе как специальный класс *Изделия*. При этом условии появляется возможность использовать методы и отдельные успешные решения, полученные при разработке информационных моделей жизненного цикла изделий в промышленности, к организации учебного процесса.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЯ. ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА. РЕСУРСНЫЕ МОДЕЛИ.

Амбражей А. Н., Арсеньев Д. Г., Головин Н. М., Шкодырев В. П., Таратухин В. В. РАЗВИТИЕ АКАДЕМИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ КОМПЕТЕНЦИИ SAP КАК РЕСУРСНОЙ И МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ (НА ПРИМЕРЕ СПБГПУ).

Рассмотрены основные вопросы концептуального развития центров компетенции **SAP, применения** современных бизнес-ориентированных программных продуктов в учебном процессе, а также вопросы разработки учебных курсов и системы профессиональной сертификации. На примере Академического центра компетенции **SAP в СПбГПУ показаны основные направления развития центров компетенции** и использования корпоративной системы управления предприятиями **SAP ERP как учебного инстру**ментария.

SAP. **ERP. КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ** И СЕРТИФИКАЦИЯ. УПРАВЛЕНИЕ.

Гарифуллин Р. А. СИНТЕЗ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ.

Обоснованы основные частные критерии, характеризующие потери при функционировании компонентов образовательной системы в соответствии с расписанием, назначены весовые характеристики, учтены основные ограничения, предпочтения и приоритеты преподавателей и студентов, составлен единый (сводный) критерий, позволяющий оценить оптимальность результата процесса составления расписания.

КРИТЕРИЙ. ВЕСОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА. ПРИОРИТЕТ. РАСПИСАНИЕ ЗАНЯТИЙ.

Голландцев Ю. А., Дубенецкий В. А. АРХИТЕКТУРА КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ В ВУЗЕ.

Рассмотрены варианты практической реализации проектных решений по информационной поддержке задач управления учебным процессом в среде **ERP-системы "РЕСУРС", использующей объектное представ**ление модели предметной области и обладающей необходимыми инструментами для её реализации.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИЗДЕЛИЯ. СИСТЕМА **ERP "РЕ**СУРС".

Фомичева С. Г., Попкова А. А. КОЭФФИЦИЕНТ КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТИ КАК КРИТЕРИЙ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА.

Рассмотрена система внутреннего мониторинга информационно-образовательных ресурсов вуза, с помощью которой формируются сводные отчёты по книгообеспеченности. Приведена структура многомерной БД, являющейся хранилищем информации, и структура витрины данных, поверх которой был построен гиперкуб и необходимые меры для расчёта книгообеспеченности.

МОНИТОРИНГ. КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ. КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ. OLAP-ТЕХНОЛОГИИ. ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ. БИЗНЕС-АНАЛИТИКА.

Сениченков Ю. Б. ДЕСЯТАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ-2009”.

На факультете технической кибернетики уже десять лет проводят международную конференцию “Компьютерное моделирование”. Опыт проведения конференции показывает, что она нужна и востребована, прежде всего, в России. Работа конференции способствует более широкому применению компьютерного моделирования в науке, образовании и промышленности.

КОНФЕРЕНЦИЯ. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Колесов Ю. Б. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПОДХОДА MvStudium.

Рассмотрен подход, реализованный в системе моделирования MvStudium, к компонентному объектно-ориентированному моделированию физических систем, основанный на использовании конструкций языка Modelica для непрерывной составляющей поведения и расширения диаграммы состояний языка UML, для описания дискретной составляющей поведения. Подход показан на примере нескольких характерных для “физического” моделирования систем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМА. MVSTUDIUM.

Хомченко В.Г., Гебель Е.С., Солонин Е.В. ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА IV КЛАССА.

Рассмотрены синтез и оптимизация на основе метода ЛП-поиска параметров плоского рычажного механизма IV-го класса с выстоем. Определены условия повышения эффективности поисковых методов.

РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ. СИНТЕЗ. МОДЕЛИРОВАНИЕ. ОПТИМИЗАЦИЯ.

Петров Г. Н. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СРЕДЕ “MODEL VISION”.

Показано несколько примеров моделирования механических систем в среде “Model Vision” с использованием 3D-анимации (зубчатое зацепление, задний мост автомобиля, шарнир Гука, платформа Стюарта и др.).

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЗУБЧАТОЕ ЗАЦЕПЛЕНИЕ. ШАРНИР ГУКА. ПЛАТФОРМА СТЮАРТА.

Скляренко М. С., Марценюк М. А., Сивков В. Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МЕТОДОМ СКОРОСТНОЙ ФОТОСЪЁМКИ.

Представлена методика прецизионных измерений координат и скоростей движущихся объектов по данным скоростной цифровой фотосъёмки. Подробно анализируются вынужденные механические колебания маятника и системы двух связанных маятников. С помощью компьютерной обработки первичных данных проведена идентификация параметров моделей, использованных для описания исследуемых систем. Обнаруженное расхождение модельного описания и эксперимента привело к необходимости уточнения первоначальной модели (переход от вязкого трения к турбулентному). Показана высокая информативность методики для анализа механических движений и идентификации параметров конкретных механических систем.

МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. СКОРОСТНАЯ ФОТОСЪЁМКА. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ. ИЗМЕРЕНИЯ.

ANNOTATION

KEYWORDS

Sidorov Y.E., Belchenko Y.G. NONPARAMETRIC OPTICAL SIGNAL DETECTOR.

A rank detector of optical signal under prior uncertainty has been considered. The noise stability of the detector is estimated using statistical imitation modeling.

OPTICAL SIGNAL DETECTION. PRIOR UNCERTAINTY. RANK TESTS. NOISE STABILITY. STATISTICAL MODELING.

Korzhik V.I., Zinkovskaya A.V., Pivarelis L.L. EXACT AUTHENTICATION OF DIGITAL JPEG IMAGES IN JPEG FORMAT.

Goals of exact authentication of digital images are considered in the paper. The algorithm of exact authentication for digital images in JPEG format is proposed and its efficiency is estimated by simulation.

EXACT AUTHENTICATION. digital watermarKING. digital signature. lEAST SIGNIFICANT BITS. SIMULATION. JPEG format.

Zhukov K.G., Butusov D.N. THE ANALYSIS AND CORRECTION OF THE ERROR OF DIGITAL INTEGRATORS OF BUILT IN CONTROL SYSTEMS.

In article the new numerical method of integration of the ordinary differential equations (ODE) is considered. The method is based on replacement of initial continuous system with equivalent nonsynchronous pulse system. For an estimation of an error of a new method the conclusion of analytical expressions which allow to eliminate a methodical error of numerical formulas of integration (quadrature rules) for known entrance signals is presented. The computer models of a new method realised in tool systems MATLAB/Simulink and LabVIEW/Simulation Module are resulted.

DYNAMIC SYSTEM. NUMERICAL METHOD OF INTEGRATION. METHODICAL ERROR. TOOL ERROR. MATHEMATICAL MODEL. COMPUTER MODEL. HARDWARE REALIZATION. MODELLING DESIGNING. DEVELOPMENT PACKAGE.

Zhukov K.G., Butusov D.N. REALIZATION OF DIGITAL FILTERS BY A METHOD OF CONSECUTIVE INTEGRATION.

In article the new approach to hardware realisation of the digital filter, based that the analogue filter is operated dynamic system is offered. The computer models of filters realised in tool system LabVIEW/Simulation Module are resulted.

CONTINUOUS FILTER. DIGITAL FILTER. MATHEMATICAL MODEL. COMPUTER MODEL. TRANSFER FUNCTION. DIRECT PROGRAMMING, PARALLEL PROGRAMMING. JOINT INTEGRATION. HARDWARE REALIZATION. DEVELOPMENT PACKAGE.

Kononov N.A., Saradgishvili S.E. COLOR LAYERS EXTRACTION METHOD FOR SCANNED TOPOGRAPHIC MAPS.

This article describes the new method of color layers extraction for scanned topographic maps. The method requires little labour inputs, has little time of processing and comes to good.

IMAGE PROCESSING. COLOR LAYERS EXTRACTION. TOPOGRAPHIC MAPS.

Akimov V. P., Glybovskiy S. B. PROPERTIES OF WIRE ANTENNAS ABOVE A GRID SCREEN.

The problem of the wire grid screen influence on the wire antenna input impedance is considered. The analytical formulas are obtained to be convenient in computing. Some examples of the numerical results are also presented.

DIPOLE ANTENNA. THE MESH SCREEN. ENTRANCE RESISTANCE. MUTUAL INFLUENCE. METHOD OF IMAGINARY IMAGES.

V.V. Aleksandrov, D.V. Aleksandrov, B.V. Aleksandrov HIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION IN THE TECHNOSPHERE AND RESPONSES OF ECOSYSTEMS.

The subject of study is grounding of real magnetic field Bz distortion in the cellular radiotelephone system. By using the model aquarial ecosystem it became possible to describe behaviorally the perception of electro-magnetic emission (EME) in the near-field zone of telephone receiver (TR) by fish and to record the response in the form of motion activity in vivo (MA). The fluctuation range of EME TR includes also the frequencies close to the cerebral biorhythms of animals and humans, so the pathological behavioral parameters in vivo revealed in the experiments can be used in the medical practice and in the working out the regulating principles of safety for the people.

CELLULAR TELEPHONE COMMUNICATION. GEOMAGNETISM. FOURIER ANALYSIS. *CARASSIUS AURATUS* FISH. MOTION ACTIVITY IN VIVO.

Prokopenko N.N., Konev D.N., Serebryakov A.I. THE METHOD OF IMPROVING ZERO STABILITY OF CIRCUIT OF DIFFERENTIAL AMPLIFIER WITH A LOCAL NEGATIVE FEEDBACK IN THE CONDITIONS OF TEMPERATURE AND RADIATION EFFECTS.

The article proposes the concept of synthesis of analog circuits with low offset voltage of zero when the radiation and temperature effects.

RADIATION. THE BIAS VOLTAGE OF ZERO. OPERATIONAL AMPLIFIERS. VOLTAGE REGULATOR.

Aleksandrov V.V., Aleksandrov B.V. TECHNIQUE OF MEASUREMENT AND THE ANALYSIS OF A SPECTRUM OF ENERGY OF RADIATION OF TELEPHONE SETS OF CELLULAR COMMUNICATION.

On an example of high-frequency electromagnetic radiation of systems of cellular radio telephone communication (EMR) distortion of natural geomagnetic field Bz in a near zone of telephone sets (PA) of various industrial designs, in various modes of functioning is experimentally proved. Consequences of long influence EMR of modern elements of cellular communication on neuronal to brain reaction can lead to the pathological phenomena and processes.

CELLULAR TELEPHONE COMMUNICATION. GEOMAGNETISM. FOURIER ANALYSIS.

Dyachenko A.V., Manjula V.G., Popov A.E., Morozov S.A. ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CONSTRUCTION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE DISTRIBUTED EDUCATIONAL STRUCTURE ON THE BASIS OF INTERNET TECHNOLOGIES.

In article possible approaches are led to construction of the generalised models of the distributed educational system, on the basis of Internet technologies. The list of the processes which are subject to consideration in the course of creation of system is offered minimum, the parameters influencing a choice of detailed elaboration of a card of processes are defined. Data on realization of the specified approaches on an example of a widespread platform of remote training Moodle is cited.

MANAGEMENT. EDUCATION. LEARNING ENVIRONMENT. MODEL.

Pobedash P.N. AN ANALYSIS of OPTIMAL CONTROL PROBLEM of REAL INVESTMENT BY OPERATIONAL APPROACH.

The estimations of criteria value in the model of real investment with two economic agents under uncertainty are suggested. This estimations is founded by operational approach, which allows to estimate the effectiveness of investment project and to prove the theorems of decision existence in optimal control problem.

INVESTMENT PROJECT. MULTISTAGE LINEAR OPTIMAL CONTROL PROBLEM.

Ivanov S.V. DEVELOPMENT AND USAGE OF THE SOFTWARE FOR INFORMATION-MEASURING AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS.

Development and realization of algorithms of the matrix for the program in information-measuring and telecommunication systems is described in this article. These algorithms are made out basic operations with movement of elements. This program works in information-measuring and telecommunication systems.

INFORMATION-MEASURING SYSTEM. TELECOMMUNICATION SYSTEM. PROGRAM. ALGORITHM.

Makarova E.A. SOFTWARE-BASED COMPLEX FOR EXPERIMENTAL DATA BASE FORMATION ON THE BASIS OF SIMULATION RESULTS

Software-based complex automatically making simulation experiment series in concordance with the plan, forming base of experimental data on macroeconomic system behaviour dynamics is developed. Suggested procedure of experimental data base formation is realized in MATLAB и MS SQL Server software environment.

DYNAMIC MODEL. SIMULATION EXPERIMENT. EXPERIMENTAL DATA BASE. DATA ANALYSES.

Rodina S.M. USING OF THE METHOD OF FUZZY LOGIC AT THE REAL ESTATE ESTIMATION (ON THE HOUSING EXAMPLE)

In article the tool of an estimation of the real estate on the basis of the device of indistinct logic is described. For realisation of calculation of cost of habitation the toolkit fuzzy Logic MatLab environments is used.

ESTIMATION METHODS, COST OF OBJECTS OF THE REAL ESTATE; THE INDISTINCT LOGIC.

Kovalenko D.S. MODEL OF THE DIAGNOSTIC NETWORK ON THE BASIS OF THE HOMOGENEOUS ENVIRONMENT OF COMMUTATIVE AGENTS

The model of interacting communication agents with a random number of links and interacting radius is presented. Dependences of performances of model of interacting agents on an angle of communication network are gained.

Usability of model for calculation of performances of networks of gathering of the diagnostic information is caused by distribution and criteria of complexity of industrial complexes.

ENGINEERING DIAGNOSTICS, INTELLECTUAL AGENT, SWITCHING ENVIRONMENT.

Khludova M.V. SYNCHRONIZATION OF DISTRIBUTED REAL-TIME APPLICATIONS.

Problems of uncontrolled priority inversion are considered in real-time distributed systems. The factors influencing on the worst-case task-blocking time are determined.

SYNCHRONIZATION. RESOURSES. APPLICATION. REAL-TIME. BLOCKING.

Rosenko A.P., Klimenko E.S. MATHEMATICAL MODELLING OF SAFETY OF THE CONFIDENTIAL INFORMATION IN VIEW OF INFLUENCE ON THE AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF DEPENDENT INTERNAL THREATS.

Application proves in clause Markov casual processes with discrete conditions for an estimation of safety of the confidential information in view of influence on the automated information system of dependent internal threats, the mathematical model of the given process, results of mathematical modeling is presented, and also conclusions and practical recommendations are formulated.

INTERNAL THREATS. CONFIDENTIAL INFORMATION . MARKOV CASUAL PROCESSES. MODELLING.

Grishin I.V. INTERSYMBOL AND INTERCHANNEL INTERFERENCE CANCELLATION ALGORITHM IN COMMUNICATION WITH DMT .

The paper deals with algorithm of adaptive DMT-signal processing, agreeable to the standards of minimal computational complexity. The test sequence forming algorithm was developed. This algorithm makes possible minimization of optimal equalizer weight ratios estimations seek.

DISCRETE MULTITONE SIGNAL. GUARD INTERVAL. INTERSYMBOL INTEREFERENCE. INTERCHANNEL INTERFERENCE. ADAPTIVE ALGORITHM.

Buzyukova I.L. SIGNALING TRAFFIC MODEL IN INTELLIGENT NETWORKS.

This paper presents the analysis of signaling traffic model in Intelligent Networks based on the application of theory for BCMP networks. Based on the analysis results the method for calculating the post-selection delay which occur in the process of establishing a connection for IN service is introduced. As an example of Intelligent Service Freephone from Capability Set 1 is taken and post-selection delay is calculated for it.

INTELLIGENT NETWORK. BCMP NETWORKS. MODELLING. POST-SELECTION DELAY.

Antonov V.I., Zagaynov A.I., Kovalenko A.N. DYNAMIC TREND OF THE CORRELATION DIMENSION AS A CHARACTERISTIC EXPONENT OF VITAL ACTIVITY.

In the article results of modern researches holter monitorings of the electrocardiograms using methods of the nonlinear analysis are submitted. It is shown, that for urgent cardiology special interest represent fractal-entropy characteristics of a condition of biological system and dynamics of their change depending on external and internal factors. In work settlement – experimental data of determined – chaotic parameters within day for patients of various age are resulted and laws in their behaviour are shown.

HOLTER'S MONITORING OF AN ELECTROCARDIOGRAM. SUDDEN CARDIAC ARREST. VENTRICULAR FIBRILLATION. CORRELATION DIMENSION. THE FRACTAL ANALYSIS OF TIME SERIES. NONLINEAR DYNAMICS OF AN INTIMATE RHYTHM. INFORMATION SHANNON ENROPY.

Khanova A.A., Grigorieva I.O. AN ESTIMATION OF EFFICIENCY OF ACTIVITY OF ORGANIZATION ON THE BASIS OF THE BALANCED SCORECARD AND IMITATING MODELING (ON AN EXAMPLE OF CARGO PORT).

The concept of an estimation of efficiency of activity of cargo port is described on the basis of the Balanced Scorecard (BSC) and imitating modeling. The parameters BSC of cargo port on four prospects are revealed: the finance, clients, internal business - processes, training and development. The description of the developed imitating model of cargo port on a basis a package Arena is given.

IMITATING MODELING. CARGO PORTS. BALANCED SCORECARD.

Atiskov A.Y., Evnevich E.L. Sergeev A.D., Alexanders I.I. TOWARDS TO USING ALGEBRAIC GRAPH TRANSFORMATION FOR TRANSLATING BUSINESS-PROCESS DIAGRAMS INTO CLASS DIAGRAMS UML.

In clause usage of Algebraic Graph Transformation for translating business-process diagrams into class diagrams UML is shown. Examples of graph transformation according to Professor Hartmut Ehrig are given. Description of transformation rules for ontological manipulating data of source diagram is provided. In the

end authors produce an algorithm for adaptation of technology towards to modern notation of business process designing WS-BPEL.

MODELING LANGUAGES. GRAPH. TRANSFORMATION. BUSINESS-MODELING. IDEF0. **UML. BPEL.**

Makarova E.A. DYNAMIC ALGORITHM OF INTERACTION OF THE ENTERPRISE AND BANK AT CREDIT REPAYMENT.

Dynamic model of repayment of credit as a component of simulation model of investment project realization for enterprise is developed. Software implementation of this model is performed by the instrumentality of «S-function» block of Simulink component in MATLAB software environment. This block can store information about investment project realization state in retrospection.

DYNAMIC MODEL. SIMULATION. INVESTMENTS. CASH FLOWS. REPAYMENT DIAGRAM.

Pashkovsky A.V. STANDARD ELEMENT METHOD IN SOLVING THE MODELING FIELD TASKS IN THE PIECEWISE HOMOGENEOUS MEDIUM.

The results of solving the modeling field tasks by the analytical and numerical methods are considered in this article. Advantages and prospects of use of the standard elements method are discussed.

METHOD OF FINAL ELEMENTS. METHOD OF STANDARD ELEMENTS. REGIONAL FIELD PROBLEMS. THE NUMERICAL DECISION.

Tsouprikov A. A., Cherednichenko V. G. THE CALCULATION OF THE DYNAMIC LOADS IN BORING PILLAR WHEN BOARDING ON THE BOTTOMHOLE.

Is executed mathematical modeling of the boarding boring pillars on the bore hole face in ambience Matlab 7.5, explored connecting processes, caused deformation and load of the pillar in sections of its length. They Are Received curves of the type and length of the connecting processes, is installed that amplitude of the connecting processes in 1,5 times more weight of the pillar, but duration reaches 3,5 mines.

BORing PILLAR. THE CONNECTING PROCESS. DEFORMATION. THE LOAD. Duration. THE AMPLITUDE.

Ulybin A.V., Vasilkov S.D. Applying a resistance electrocontact testing for stress-strain state testing of steel constructions elements.

The influence of compression and stretching tension on effective specific resistance (ESR) in specimen surface layer in steel is investigated. Nondestructive resistance electrocontact testing was used for measurement in the range of loads 0,0-0,8 yield point stress. There is shown that ESR varies linearly under loading and the dependence has a hysteretic character after multicyclic loading.

TENSION. STEEL. ELECTRIC RESISTIVITY.

Fedorov V.V. TO A QUESTION ON CREATION “THE INTELLECTUAL BUILDING”.

The article shows the problems in designing conventional buildings snd also it shows the differences and advantages between conventional and intelligent buildings.

MANAGEMENT SYSTEM. INTELLIGENT BUILDING. SMARTHOUSE. INTELLIGENT BUILDING’S PROTOCOLS.

Nagorniy V.S., Pshchelko N. S., Sidorova N.P. DYNAMICS OF ANODIC BONDING PROCESS FORMATION.

Dependences of parameters of anodic bonding junction on time are considered. The expressions allowing to choose well-founded time of formation of anodic bonding junction are obtained, intensity of electrostatic fields and forces in dynamics is calculated.

ADHESION. DYNAMIC. ELECTRIC FIELD.

Vetrinsky Yu. A., Sorotsky V.A., Tsikin I.A. THE INSTRUMENTAL TOOLS FOR IMS AND SCORM ELECTRONIC EDUCATIONAL RECOURSES CREATING.

The international electronic educational recourses packaging standards for providing of educational courses and objects interoperability with wide range of learned management systems are presented. The brief review of instrumental tools for IMS and SCORM packaged electronic educational recourses creature is presented.

MANIFEST. METADATA. ELECTRONIC EDUCATIONAL RECOURSE. COURSE REDACTOR. LEARNING MANAGEMENT SYSTEM. STANDARD.

Gollandzev Y.A., Dubeneckii V.A. ABOUT ERP-CLASS INFORMATION SYSTEMS’ APPLICATION POSSIBILITY FOR EDUCATIONAL PROCESS MANAGEMENT.

In article ERP-class information systems' features of application for creating educational process management systems in univercity are observed. It is offered to treat Educational program in univercity as special Product class. Under this condition a possibility to use methods and separate successful results, recieved by working out product lifecycle information models in industry, in educational process management appears.

INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS. PRODUCT LIFECYCLE. EDUCATIONAL PROGRAM. RESOURCE MODELS.

Ambrajei A.N, Arseniev D.G., Golovin N.M., Shkodyrev V.P., Taratoukhine V.V. DEVELOPING OF SAP ACADEMIC COMPETENCE CENTRES IN AS RESOURCES AND EDUCATIONAL BASE FOR INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL PROGRAMS (SPbSPU case).

Creation of Academic competence centres is the up-to-date and efficient mechanism of co-operation between large international corporations, including IT-sector, and educational institutions. In the article authors discussing key questions of conceptual development of the SAP competence centres, usage of modern business-oriented software in the educational process, as well as issues of curriculum development and professional certification. Main directions of competence centres further development are shown on SAP Academic competence centre in SPbSPU case and using corporate information software SAP ERP as educational tool.

SAP. ERP. CORPORATE INFORMATION SYSTEMS. PROFESSIONAL EDUCATION AND CERTIFICATION. MANAGEMENT.

Garifullin R.A. SYNTHESES OF COMMON OPTIMIZATION CRITERION OF THE AUTOMATED SYSTEM OF UNIVERSITY STUDENT SUBJECT SCHEDULING.

In article it is motivated main private criterions, characterizing losses during educational system komponents operating in accordance with schedule, fixed cost features, considered main restrictions, preferences and priorities of teachers and students, formed united (common) criterion, allowing estimate sheduling result optimum.

CRITERION. COST FEATURE. PRIORITY. SCHEDULING.

Gollandcev U.A., Dubeneckii V.A. UNIVERSITY EDUCATIONAL PROCESS MANAGEMENT CORPORATE INFORMATION SYSTEM'S ARCHITECTURE.

In article variable practical realizations of design decisions on educational process management problems' information support in «RESOURCE» EPR-system environment, using application domain model's objective representation and possessing necessary tools for its realization, are observed.

INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS. PRODUCT LIFECYCLE. «RESOURCE» ERP-SYSTEM.

Fomitcheva S. G., Popkova A. A. BOOK PROVISION FACTOR AS the MULTIDIMENTION ANALYSIS CRITERIA TO SUPLIES OF THE SCHOLASTIC PROCESS.

In article is considered system of the internal monitoring information-educational resource of the high school, by means of which are formed consolidated reports on provision of books. The Broughted structure multivariate BD, which is warehouse, and structure of the data mart, over which was built multi-dimensional cube and necessary measures for calculation provision of books.

monitoring. quality of the education. provision of books. OLAP-technology. Warehouse. business integration.

Senichenkov Yu.B. 10TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE "MODELING AND SIMULATION 2009".

Computer science school of our university holds annual international conference "Modeling and simulations" for ten years. This year was anniversary. Our experience indicates that the conference is necessary and called-for first of all in Russia. The conference activity stimulates the development and using computer modeling in theory and practice.

CONFERENCE. COMPUTER MODELLING.

Kolesov Yu.B. "PHISICAL" MODELING IN MVSTUDIUM.

The new object-oriented technology for modeling and simulation of multi-component physical systems realized in graphical environment MvStudium is considered. For modeling continuous part of behavior Modelica's approach is used. Discrete part is described with the help of extended UML state machines. Using of the technology is illustrated by typical examples.

MODELLING. SYSTEM. MVSTUDIUM.

Khomchenko V.G., Gebel E.S., Solonin E.V. OPTIMIZATIONAL SINTHESIS OF IV CLASS LINKAGES WITH FINITE DWELL .

The article considers the questions of kinematics synthesis and LP-search base optimization of parameters IV class linkage with finite dwell. Definitude conditions of effectiveness searching methods rise.

INKAGES. SINTHESIS. MODELLING. OPTIMIZATION.

Petrov G.N. NUMERICAL SIMULATIONS OF MECHANICAL SYSTEMS USING "MODEL VISION" ENVIRONMENT.

Paper presents several examples of 3D animation of mechanical systems (gear engagement, back axle, Hooke's joint, Steward platform and etc.) using "Model Vision" environment.

MODELLING. GEAR ENGAGEMENT. HOOKE'S JOINT. STEWARD PLATFORM.

Skljarenko M.S., Martsenjuk M.A., Sivkov V.G. FORCED MECHANICAL OSCILLATIONS STUDY BASED ON HIGH-SPEED PHOTOGRAPHY.

A method of precise measurements of coordinates and velocities of moving objects based on high-speed digital photography data analysis is observed. We investigate forced oscillations of pendulum and system of two coupled pendula. Parameter of models, which were used to describe these systems, were identified using computer processing of experimental data. Discovered difference of model and experiment led to more accurate definition of original model (transition from viscous damping to turbulent damping). Described method is a high-informative approach for mechanical motions analysis and identification of mechanical systems.

MECHANICAL OSCILLATIONS. HIGH-SPEED PHOTOGRAPHY. IMAGE PROCESSING. MEASUREMENTS.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВЕДОМОСТИ СПбГПУ

№ 6 (91) 2009

Учредитель — Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Издание зарегистрировано в Госкомпечати РФ, свидетельство № 013165 от 23.12.94

Редакция журнала

д.э.н., профессор, канд. техн. наук *А.В. Бабкин* — научный редактор
Н.В. Бакк, Е.А. Калинина — литературный редактор, корректор
А.А. Родионова — менеджер по работе с клиентами
М.О. Давыденко — ответственный секретарь, выпускающий редактор

Телефон редакции 552-62-16, 297-18-21

E-mail: infocom@spbstu.ru

Компьютерная верстка *А.Б. Волкова, Ю.Б. Борисовой*

Директор Издательства Политехнического университета *А.В. Иванов*

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано в печать 30.12.2009. Формат 60×84 1/8. Бум. тип. № 1.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 33,75. Уч.-изд. л. 33,75. Тираж 1000. Заказ 9.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.
Издательство Политехнического университета,
член Издательско-полиграфической ассоциации университетов России.
Адрес университета и издательства: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29.

УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ СТАТЕЙ
в журнале "Научно-технические ведомости СПбГПУ"

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Журнал "Научно-технические ведомости СПбГПУ" является периодическим печатным научным рецензируемым журналом. Он зарегистрирован в Госкомпечати РФ (свидетельство № 013165 от 23.12.94) и распространяется по подписке Агентства "Роспечать", индекс 18390.

Журнал с 2002 года входит в Перечень ведущих научных журналов и изданий (перечень ВАК) и принимает для печати материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук и кандидата наук по семи научным направлениям: ЭКОНОМИКА; УПРАВЛЕНИЕ, ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА; ФИЗИКА; ЭНЕРГЕТИКА; МАШИНОСТРОЕНИЕ; МЕТАЛЛУРГИЯ; РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ, ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА.

Периодичность выхода журнала – 6 номеров в год.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЯЕМЫМ МАТЕРИАЛАМ

2.1. Оформление материалов

1. Объем статей докторов наук, профессоров, докторантов, соискателей ученой степени доктора наук, как правило, – 12–20 страниц формата А4. Количество рисунков не должно превышать пяти, таблиц — четырех, литературных источников – пятнадцати.

2. Объем статей преподавателей, сотрудников, аспирантов, соискателей ученой степени кандидата наук, как правило, – 8–15 страниц формата А4. Количество рисунков не должно превышать четырех, таблиц — трех, литературных источников — десяти.

3. Авторы должны придерживаться следующей обобщенной структуры статьи: вводная часть (0,5–1 стр., актуальность, существующие проблемы); основная часть (постановка и описание задачи, изложение и суть основных результатов); заключительная часть (0,5–1 стр., предложения, выводы), список литературы.

4. Число авторов статьи – не более трех.

5. Набор текста осуществляется в редакторе MS Word, формулы набираются в редакторе MS Equation. Таблицы набираются в том же формате, что и основной текст.

Шрифт – TNR, размер шрифта основного текста – 14, интервал – 1,5; таблицы большого размера могут иметь 12 кегль шрифта. Параметры страницы: слева – 3 см, сверху, снизу – 2,5 см, справа – 2,0 см, текст размещается без переносов. Абзацный отступ – 1,0 см.

6. Редакция кроме бумажного издания журнала организует формирование полнотекстовых электронных версий статей журнала, доступных для подписчиков.

2.2. Вместе с материалами статьи должны быть обязательно предоставлены:

- номер УДК в соответствии с классификатором (в заголовке статьи);
- аннотация статьи (2–3 предложения) на русском и английском языках;
- ключевые слова статьи (5–7) на русском и английском языках;
- сведения об авторах, включающие ФИО автора, место его работы, должность, ученое звание, ученую степень, контактные телефоны, e-mail;
- лицензионный договор, регламентирующий электронное представление материалов;
- рекомендация на имя зам. главного редактора журнала, подписанная научным руководителем автора и/или руководителем подразделения. Рекомендация должна быть ОБЯЗАТЕЛЬНО заверена в отделе кадров;
- рецензия на имя зам. главного редактора, подписанная специалистом, имеющим ученую степень доктора наук и/или ученое звание профессора. Рецензия должна быть ОБЯЗАТЕЛЬНО заверена в отделе кадров. Рецензент несет ответственность за содержание статьи, достоверность представленных материалов.

При необходимости редколлегия может потребовать предоставление акта экспертизы, о чем она сообщает автору (авторам).

2.3. Предоставление материалов

Предоставление всех материалов осуществляется по электронной почте на адрес редакции e-mail **infocom@spbstu.ru**

2.4. Рассмотрение материалов

Предоставленные редакционному комитету материалы (п. 2.2) первоначально рассматриваются редакционной коллегией и передаются для рецензирования. После одобрения материалов, согласования различных вопросов с автором (при необходимости) редакционная коллегия сообщает автору решение об опубликовании статьи. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

При отклонении материалов из-за нарушения сроков, требований оформления или не отвечающих тематике журнала они не публикуются и не возвращаются.

Редакционная коллегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных материалов.

Публикация материалов аспирантов осуществляется бесплатно.

Более подробную информацию можно получить по телефону/факсу редакции

тел./факс (812) 552-62-16, 297-18-21 с 10^{00} до 18^{00} час. – Мария Олеговна;

тел. 8-906-269-47-45 – Иван Александрович

или e-mail – **infocom@spbstu.ru**