

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал



We are recorders and reporters of the facts-not judges of the behavior we describe.

8

2014

Часть I

ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 8 (67) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор: Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Сараева Надежда Михайловна, *доктор психологических наук*

Авдеюк Оксана Алексеевна, *кандидат технических наук*

Алиева Тарана Ибрагим кызы, *кандидат химических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Данилов Олег Евгеньевич, *кандидат педагогических наук*

Дёмин Александр Викторович, *кандидат биологических наук*

Дядюн Кристина Владимировна, *кандидат юридических наук*

Желнова Кристина Владимировна, *кандидат экономических наук*

Жуйкова Тамара Павловна, *кандидат педагогических наук*

Игнатова Мария Александровна, *кандидат искусствоведения*

Коварда Владимир Васильевич, *кандидат физико-математических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Кучерявенко Светлана Алексеевна, *кандидат экономических наук*

Лескова Екатерина Викторовна, *кандидат физико-математических наук*

Макеева Ирина Александровна, *кандидат педагогических наук*

Мусаева Ума Алиевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Прончев Геннадий Борисович, *кандидат физико-математических наук*

Семахин Андрей Михайлович, *кандидат технических наук*

Сенюшкин Николай Сергеевич, *кандидат технических наук*

Ткаченко Ирина Георгиевна, *кандидат филологических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

На обложке изображен Альфред Чарлз Кинси (1894–1956) — американский биолог, профессор энтомологии и зоологии, исследователь сексуальности человека.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231. E-mail: info@moluch.ru; <http://www.moluch.ru/>.

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Конверс», г. Казань, ул. Сары Садыковой, д. 61

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

Ответственные редакторы:

Кайнова Галина Анатольевна

Осянина Екатерина Игоревна

Международный редакционный совет:

Айрян Заруи Геворковна, *кандидат филологических наук, доцент (Армения)*

Арошидзе Паата Леонидович, *доктор экономических наук, ассоциированный профессор (Грузия)*

Атаев Загир Вагитович, *кандидат географических наук, профессор (Россия)*

Борисов Вячеслав Викторович, *доктор педагогических наук, профессор (Украина)*

Велковска Гена Цветкова, *доктор экономических наук, доцент (Болгария)*

Гайич Тамара, *доктор экономических наук (Сербия)*

Данатаров Агахан, *кандидат технических наук (Туркменистан)*

Данилов Александр Максимович, *доктор технических наук, профессор (Россия)*

Досманбетова Зейнегуль Рамазановна, *доктор философии (PhD) по филологическим наукам (Казахстан)*

Ешиев Абдыракман Молдоалиевич, *доктор медицинских наук, доцент, зав. отделением (Кыргызстан)*

Игисинов Нурбек Сагинбекович, *доктор медицинских наук, профессор (Казахстан)*

Кадыров Кутлуг-Бек Бекмуратович, *кандидат педагогических наук, заместитель директора (Узбекистан)*

Козырева Ольга Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Россия)*

Лю Цзюань, *доктор филологических наук, профессор (Китай)*

Малес Людмила Владимировна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Нагервадзе Марина Алиевна, *доктор биологических наук, профессор (Грузия)*

Нурмамедли Фазиль Алигусейн оглы, *кандидат геолого-минералогических наук (Азербайджан)*

Прокопьев Николай Яковлевич, *доктор медицинских наук, профессор (Россия)*

Прокофьева Марина Анатольевна, *кандидат педагогических наук, доцент (Казахстан)*

Ребезов Максим Борисович, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Россия)*

Сорока Юлия Георгиевна, *доктор социологических наук, доцент (Украина)*

Узаков Гулом Норбоевич, *кандидат технических наук, доцент (Узбекистан)*

Хоналиев Назарали Хоналиевич, *доктор экономических наук, старший научный сотрудник (Таджикистан)*

Хоссейни Амир, *доктор филологических наук (Иран)*

Шарипов Аскар Калиевич, *доктор экономических наук, доцент (Казахстан)*

Художник: Евгений Шишков

Верстка: Павел Бурьянов

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Имомов А. И.**
Организация вычислений решения краевой задачи для линейного ОДУ в Mathcad1
- Имомов А. И.**
Решение краевой задачи для линейных дифференциальных уравнений в частных производных в Mathcad 6
- Титова Е. И., Мартынова А. Д.**
Математическое моделирование в биологии12

ФИЗИКА

- Воробьев Д. М., Пермяков Н. В.**
Установка для измерения газочувствительных слоев методом спектроскопии импеданса15
- Емельянов А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Бочкарев Ю. П., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф.**
Программирование линейного асинхронного двигателя ($Z1 = 18$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом 20
- Игошина С. Е., Карманов А. А.**
Волновые функции электрона в квантовых точках «ядро/оболочка» типа I 41
- Калашников С. В., Моисеев М. А.**
Экспериментальное исследование горения малой примеси углеводородов применительно к подтверждению гипотезы шаровой молнии ...45
- Курбатов Е. С.**
Газодинамика процесса истечения из резервуаров со сжатыми газами49
- Хасанов М. К.**
Математическая модель синтеза газогидрата в пористой среде при инъекции газа 51

ХИМИЯ

- Турсунов М. М., Наманходжаев А. Н., Абдуллаев М. Т., Хаитов Б. А.**
Эффективность использования электрохимической активированной воды в процессе разведения восковой моли в биологических лабораториях55
- Фозилов С. Ф., Бердиева З. М., Рузиева К. Э., Киёмов Ш. Ф., Норова М. С.**
Математическое моделирование низкотемпературных свойств синтезированной депрессорной присадки на дизельное топливо 57

ИНФОРМАТИКА

- Shihab D. T., Rashied L. T.**
Реализация алгоритма RC4 на CBuilder 60
- Белов И. В.**
Использование программной системы MPRIORITY для принятия оптимального решения 67
- Ветлугин А. С.**
Разработка компьютерной модели управления монитором 71
- Вихляев С. А., Белов И. В., Кононова М. А.**
Применение программной системы Digital Security Office для проведения аудита безопасности информационной системы обработки персональных данных75
- Кожевников Н. С.**
Причины необходимости использования диаграмм связей в учебном процессе вуза78
- Козинцева Е. А.**
Изучение макросов в OpenOffice.org82

Кононова М. А., Вихляев С. А., Фендрикова Е. И. Разработка в оболочке RuleBook экспертной системы «Лаборант лаборатории информационных технологий».....84	Рогалева Р. Р. Проектирование урока информатики, направленного на формирование универсальных учебных действий99
Курушина А. С. Применение графических процессоров для параллельных вычислений 87	Семахин А. М., Мамонтов Р. И. Программный комплекс выбора распределенной вычислительной сети..... 102
Михеев И. С. Функциональная модель процесса «Хирургическое лечение».....89	Синюк В. Г., Бакшеева Е. Л. Гибкие нейро-нечеткие системы вывода и программная реализация для решения задач аппроксимации..... 108
Пушкарев А. А. Автоматизация процесса расчета эффективной процентной ставки по кредиту для кредитного отдела коммерческого банка92	Торопцев Е. Л., Репин А. В. Информационная безопасность и стандарт CobiT..... 112

МАТЕМАТИКА

Организация вычислений решения краевой задачи для линейного ОДУ в Mathcad

Имомов Адаш Имомович, кандидат физико-математических наук, доцент
 Наманганский государственный университет (Узбекистан)

В настоящее время появилась возможность решения математических задач без составления компьютерных программ на языках программирования. Причиной этого является разработка специальных математических программ — математических систем. В научных исследованиях и в вузах на занятиях больше всего применяются следующие математические системы: MathCAD, MATLAB, Maple, Mathematica [1–3]. С применением математических систем учебный процесс становится интереснее, студенты понимают содержание занятия быстрее, глубже, а для укрепления понятий и решения задач остаётся больше времени.

В последнее время задачи вычислительной математики [1,2] часто решают в математической системе MATHCAD. При этом используют разные подходы: одни применяют внутренний язык MATHCAD, другие пытаются реализовать численный математический алгоритм [3–7].

В статье алгоритмы методов коллокации, Галёркина, наименьших квадратов, разностных схем приближённого решения линейного обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) с краевыми условиями (КУ) организованы в математической системе MATHCAD.

1. Краевая задача для ОДУ. Сведения о приближённых методах.

Для линейного ОДУ краевая задача ставится следующим образом:

$$Lu \equiv u'' + p(x)u' + q(x)u = f(x), \quad a \leq x \leq b, \quad (\text{ОДУ}), \tag{1}$$

$$l_0 u \equiv \alpha_0 u(a) + \alpha_1 u'(a) = \gamma_0, \quad l_1 u \equiv \beta_0 u(b) + \beta_1 u'(b) = \gamma_1, \quad (\text{КУ}). \tag{2}$$

Необходимо найти функцию $\bar{u} = \bar{u}(x) \in C^2[a, b]$, удовлетворяющую ОДУ и краевым условиям (КУ) (2).

В проекционных методах [1,2] приближённое решение $u_n(x) \approx \bar{u}(x)$ отыскивается в виде конечной суммы с неопределёнными коэффициентами:

$$u_n(x) = \varphi_0(x) + \sum_{j=1}^n c_j \varphi_j(x), \quad c_j \text{ - ?}. \tag{3}$$

Здесь начальная функция $\varphi_0(x)$ и базисные функции $\{\varphi_i(x), i \geq 1\}$ определяются требованиями конкретных методов:

$$l_0 \varphi_0(a) = \gamma_0, \quad l_1 \varphi_0(b) = \gamma_1, \quad l_0 \varphi_i(a) = 0, \quad l_1 \varphi_i(b) = 0, \quad i \geq 1.$$

$$\{\varphi_i(x), i \geq 0\} \in C^2[a, b].$$

система $\{\varphi_i(x), i \geq 1\}$ линейно независима и полна на отрезке $[a, b]$.

При таком выборе имеет место сходимость $Lu_n(x) - f(x) \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$, а в случае ограниченности L^{-1} имеет место сходимость $\bar{u}(x) - u_n(x) \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$ [1].

Для определения неизвестных коэффициентов введем функцию невязки

$$R_n(x, c) = Lu_n(x) - f(x) = \sum_{j=1}^n c_j L\varphi_j(x) + L\varphi_0(x) - f(x). \tag{4}$$

В методе коллокации коэффициенты $\{c_j\}$ определяются из условий совпадения $Lu_n(x_i) - f(x_i) = 0, i = 1..n$, что эквивалентно линейной системе уравнений:

$$\sum_{j=1}^n c_j L_j \varphi_j(x_i) = f(x_i) - L\varphi_0(x_i), i=1, \dots, n. \quad (5)$$

В методах Галеркина коэффициенты $\{c_j\}$ определяются из условия ортогональности $Lu_n(x) - f(x) \perp \varphi_i(x), i=1..n$, что эквивалентно линейной системе уравнений:

$$\sum_{j=1}^n c_j (L\varphi_j, \varphi_i) = (f - L\varphi_0, \varphi_i), (f, g) = \int_b^a f(x)g(x)dx, i, j = 1, \dots, n. \quad (6)$$

В основе метода Рунца лежит идея минимизации квадратичного функционала:

$$F(u_n) = (Lu_n, u_n) - 2(u_n, f) = \int_a^b u_n(x)Lu_n(x)dx - 2\int_a^b u_n(x)f(x)dx \rightarrow \min, \quad (7)$$

которая опять приводит к системе (6). В методе Рунца предполагается симметричность и положительная определённость оператора $L: (Lu, v) = (u, Lv), (Lu, u) \geq c^2(u, u), \forall u, v$.

В методе наименьших квадратов коэффициенты $\{c_j\}$ определяются из условия ортогональности $Lu_n(x) - f(x) \perp L\varphi_i(x), i=1..n$, что эквивалентно линейной системе уравнений:

$$\sum_{j=1}^n c_j (L\varphi_j, L\varphi_i) = (f - L\varphi_0, L\varphi_i), (f, g) = \int_b^a f(x)g(x)dx, i, j = 1, \dots, n. \quad (8)$$

2. Выбор базисных функций [2,4]. Для каждого типа краевых условий предлагаем два варианта базисных функций.

Краевые условия 1-го типа: $u(a)=\gamma_0, u(b)=\gamma_1$,

$$\varphi_0(x) = \gamma_0 + (\gamma_1 - \gamma_0)(x - a)/(b - a), \varphi_0(a)=\gamma_0, \varphi_0(b)=\gamma_1, \quad (10)$$

$$a) \varphi_i(x) = (x - a)^i (b - x); \text{ б) } \varphi_i(x) = \sin(i(x - a)\pi/(b - a)), \varphi_i(a)=\varphi_i(b)=0, i \geq 1. \quad (11)$$

Краевые условия 2-го типа: $u'(a)=\gamma_0, u'(b)=\gamma_1$,

$$\varphi_0(x) = \gamma_0 x + (\gamma_1 - \gamma_0)(x - a)^2 / (2(b - a)), \varphi_0'(a)=\gamma_0, \varphi_0'(b)=\gamma_1. \quad (12)$$

$$a) \varphi_i(x) = (x - a)^{i+1} (b - x)^2; \text{ б) } \varphi_i(x) = \cos(i(x - a)\pi/(b - a)), \varphi_i'(a)=\varphi_i'(b)=0, i \geq 1. \quad (13)$$

Краевые условия 3-го типа: $l_0 u \equiv \alpha_0 u(a) + \alpha_1 u'(a) = \gamma_0, l_1 u \equiv \beta_0 u(b) + \beta_1 u'(b) = \gamma_1$.

Полагая, $\varphi_0(t) = kt + d$ имеем $(\alpha_0 a + \alpha_1)k + \alpha_0 d = \gamma_0, (\beta_0 b + \beta_1)k + \beta_0 d = \gamma_1$. Отсюда, согласно правилу Крамера находим $k = Dk / D, d = Dd / D$, где

$$D = \begin{vmatrix} \alpha_0 a + \alpha_1 & \alpha_0 \\ \beta_0 a + \beta_1 & \alpha_1 \end{vmatrix}, Dk = \begin{vmatrix} \gamma_0 & \alpha_0 \\ \gamma_1 & \alpha_1 \end{vmatrix}, Dd = \begin{vmatrix} \alpha_0 a + \alpha_1 & \gamma_0 \\ \beta_0 a + \beta_1 & \gamma_1 \end{vmatrix}.$$

$$a) \varphi_i(x) = (x - a)^{i+1} (b - x)^2; \text{ б) } \varphi_i(x) = (x - a)^{i+1} (\gamma_i - t), i \geq 1, l_0 \varphi_i(a) = l_1 \varphi_i(a) = 0. \quad (14)$$

3. Организация решения задачи в MathCAD

В качестве примера рассмотрим ОДУ [2] с параметрами

$$p(t) := t^2, q(t) := -t, f(t) := 6/t^4 - 3/t, u(a) = \gamma_0, 3u(b) + u'(b) = \gamma_1,$$

$$\alpha_0 = 1, \alpha_1 = 0, \gamma_0 = 1, \beta_0 = 3, \beta_1 = 1, \gamma_1 = 0.5.$$

В качестве базисных функций принимаем $\varphi_i(x) = (x - a)^{i+1} (\gamma_i - t), i \geq 1$.

Базисную функцию $\varphi_j(t)$ в MATHCAD удобно обозначить так $\varphi_j(t) = \varphi(j, t)$. Ещё введём обозначения $\psi(j, t) = L\varphi(j, t), \chi(t) = f(t) - L\varphi_0(t)$.

Команды в MATHCAD записываются без всякого предопределителя, и отличаются от математических формул лишь следующей разницей: комбинация знаков двоеточие и равно, т.е. ($:=$), означает определение, знак равно ($=$)

или стрелка (\rightarrow) означает вывод вычисленного значения. Кроме того, после ввода знака «открывается поле для ввода текста-замечания и по окончании ввода — замечания и нажатия клавиши Enter остаётся только текст-замечание. Мы в местах, где должен быть текст-замечание записываем знак «и, после него, вводим текст-замечание. Это облегчает понимание алгоритма решения.

Записываем в MATHCAD следующие команды:

$$a := 1 \quad b := 2 \quad L := b - a \quad n := 5 \quad i := 1..n \quad x_i := a + i * h / (n + 1)$$

«Определим начальную функцию $\varphi_0(t) = kt + d$ из условий $l_0\varphi_0(a) = \gamma_0, l_1\varphi_0(b) = \gamma_1$.

$$MD := \begin{bmatrix} \alpha_0 a + \alpha_1 & \alpha_0 \\ \beta_0 a + \beta_1 & \beta_0 \end{bmatrix} \quad MDk := \begin{bmatrix} \gamma_0 & \alpha_0 \\ \gamma_1 & \beta_0 \end{bmatrix} \quad MDd := \begin{bmatrix} \alpha_0 a + \alpha_1 & \gamma_0 \\ \beta_0 a + \beta_1 & \gamma_1 \end{bmatrix}$$

$$Dk := |MDk| \quad D := |MD| \quad Dd := |MDd| \quad \varphi_0(t) := (Dk * t + Dd) / D$$

«Определим базисные функции $\varphi_i(x) = (x - a)^{i+1}(\gamma_i - x)$, $i \geq 1, l_0\varphi_i(a) = 0, l_1\varphi_i(b) = 0$.

$$j := 1..n \quad \gamma_j := (b + \beta_1 * L / (\beta_0 * L + (j + 1) * \beta_1)) \quad \varphi(j, t) := (t - a)^{j+1} * (\gamma_j - t) \quad \text{«базисные функции»}$$

$$\psi(j, t) := \left(\frac{d^2}{dt^2} \varphi(j, t) \right) + p(t) \left(\frac{d}{dt} \varphi(j, t) \right) + q(t) \varphi(j, t) \quad \text{«вспомогательная функция»}$$

$$\chi(t) := f(t) - \left[\left(\frac{d^2}{dt^2} \varphi_0(t) \right) + p(t) \left(\frac{d}{dt} \varphi_0(t) \right) + q(t) \varphi_0(t) \right] \quad \text{«вспомогательная функция»}$$

$$aK_{i,j} := \psi(j, x_i) \quad bK_i := \chi(x_i) \quad \text{«элементы метода коллокации»}$$

$$aG_{i,j} := \int_a^b \psi(j, t) \varphi(i, t) dt \quad bG_i := \int_a^b \chi(t) \varphi(i, t) dt \quad \text{«элементы метода Галёркина»}$$

$$aE_{i,j} := \int_a^b \psi(j, t) \psi(i, t) dt \quad bE_i := \int_a^b \chi(t) \psi(i, t) dt \quad \text{«элементы метода МНК»}$$

«Для контроля вычислений можно вывести на экран матрицы и правые части, полагая

$$aK = \quad bK = \quad aG = \quad bG = \quad aE = \quad bE = \quad \text{«вывод матрицу, правую часть»}$$

$$cK := aK^{-1} * bK \quad uK(t) := \varphi_0(t) + \sum_{i=1}^n cK_i * \varphi(i, t) \quad uK_i = uK(x_i) \quad \text{«метода коллокации»}$$

$$cE := aE^{-1} * bE \quad uE(t) := \varphi_0(t) + \sum_{i=1}^n cE_i * \varphi(i, t) \quad uE_i = uE(x_i) \quad \text{«метод наименьших квадратов»}$$

$$cG := aG^{-1} * bG \quad uG(t) := \varphi_0(t) + \sum_{i=1}^n cG_i * \varphi(i, t) \quad uG_i = uG(x_i) \quad \text{«метод Галёркина»}$$

$$uK^T = (0.8556 \quad 0.8384 \quad 0.8229 \quad 0.8086 \quad 0.7949) \quad \text{«вычисление значений } uK(x_i)\text{»}$$

$$uE^T = (0.8553 \quad 0.8373 \quad 0.8205 \quad 0.8044 \quad 0.7885) \quad \text{«вычисление значений } uE(x_i)\text{»}$$

$$uG^T = (0.8521 \quad 0.8275 \quad 0.8034 \quad 0.7808 \quad 0.7597) \quad \text{«вычисление значений } uG(x_i)\text{»}$$

Для сравнения найденных значений сведём их в таблицу:

Методы/узлы	1,0333	1,0667	1,1	1,1333	1,1667
Коллокации	0,8556	0,8384	0,8229	0,8086	0,7949
МНК	0,8553	0,8373	0,8205	0,8044	0,7885
Галёркина	0,8521	0,8275	0,8034	0,7808	0,7597

Используя базисные функции $\varphi_i(x) = (x - a)^{i+1}(b - x)^2$, найдем почти такие же значения.

4. Организация вычислений решения краевой задачи для линейного ОДУ с помощью разностных схем.

Для ОДУ, разностная схема имеет следующий вид:

$$L_h u_h = \left\{ \frac{u_{i-1} - 2u_i + u_{i+1}}{h^2} + p_i \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} + q_i u_i = f_i, i = 0, \dots, n-1, \right\} = f_h, \quad (15)$$

$$l_h u_h = \{l_{0h} u_h, l_{1h} u_h\} = \left\{ \alpha_0 u_0 + \alpha_1 \frac{u_1 - u_0}{h}, \beta_0 u_n + \beta_1 \frac{u_n - u_{n-1}}{h} \right\} = g_h = \{\gamma_0, \gamma_1\}. \quad (16)$$

Преобразуем эту систему линейных уравнений в систему:

$$\begin{cases} u_0(\alpha_0 h - \alpha_1) + \alpha_1 u_1 = \gamma_0 h, \\ (1 - p_i h/2)u_{i-1} + (q_i h^2 - 2)u_i + (1 + p_i h/2)u_{i+1} = f_i h^2, & i = 1, \dots, n-1 \\ -\beta_1 u_{n-1} + (\beta_0 h + \beta_1)u_n = \gamma_1 h \end{cases}$$

Вводя следующие обозначения

$$b_0 = \alpha_0 h - \alpha_1, c_0 = \alpha_1, d_0 = \gamma_0 h, a_i = 1 - p_i h/2, b_i = q_i h^2 - 2, c_i = 1 + p_i h/2, d_i = f_i h^2, \\ i = 1, \dots, n-1, a_n = -\beta_1, b_n = \beta_0 h + \beta_1, d_n = \gamma_1 h$$

приходим к стандартной трехдиагональной системе линейных уравнений:

$$\{b_0 u_0 + c_0 u_1 = d_0, a_i u_{i-1} + b_i u_i + c_i u_{i+1} = d_i, i = 1, \dots, n-1, a_n u_{n-1} + b_n u_n = d_n\}.$$

Трехдиагональную систему линейных уравнений можно решать методом прогонки. В методе прогонки решения системы линейных уравнений разыскивается в виде $u_i = v_{i+1} u_{i+1} + w_{i+1}$, где коэффициенты прогонки $\{v_i, w_i\}$ и неизвестные $\{u_i\}$ определяются формулами:

$$\{v_{i+1} = -c_i / [a_i v_i + b_i], w_{i+1} = [d_i - a_i w_i] / [a_i v_i + b_i], i = 1, \dots, n-1, v_0 = w_0 = 0, \quad (17)$$

$$u_n = [d_n - a_n w_n] / [a_n v_n + b_n], u_i = v_{i+1} u_{i+1} + w_{i+1}, i = n-1, n-2, \dots, 0. \quad (18)$$

Формулы (17) определяют прогоночные коэффициенты $\{v_i, w_i\}$, а формулы (18) определяют неизвестные $\{u_i\}$.

Решение задачи в MathCAD.

В качестве примера рассмотрим ДУ с параметрами

$$p(t) := t^2, q(t) := -t, f(t) := 6/t^4 - 3/t, a = 1, b = 2, \bar{u}(t) = 1/t^2.$$

$$p(t) := t^2, q(t) := -t, f(t) := 6/t^4 - 3/t \quad \ll u''(t) + p(t)u'(t) + q(t)u(t) = f(t)$$

$$n := 10 \quad i := 0..n \quad t_0 := 1 \quad t_n := 2 \quad h := (t_n - t_0)/n \quad t_i := t_0 + ih \quad \ll \text{отрезок, параметры}$$

$$\alpha_0 := 1 \quad \alpha_1 := 0 \quad \gamma_0 := 1 \quad \ll \text{коэффициенты КУ}$$

$$\beta_0 := 3 \quad \beta_1 := 1 \quad \gamma_1 := 0.5 \quad \ll \text{коэффициенты КУ}$$

$$b_0 = \alpha_0 h - \alpha_1, c_0 = \alpha_1, d_0 = \gamma_0 h, \quad \ll \text{коэффициенты 0-уравнения СЛАУ}$$

$$a_n = -\beta_1, b_n = \beta_0 h + \beta_1, d_n := \gamma_1 h \quad \ll \text{коэффициенты n-уравнения СЛАУ}$$

$$i = 1, \dots, n-1, a_i = 1 - p_i h/2, b_i = q_i h^2 - 2, c_i = 1 + p_i h/2, d_i = f_i h^2 \quad \ll \text{коэффициенты i-го уравнения}$$

$$u(x) := 1/x^2 \quad u_i := u(x_i) \quad \ll \text{точное решение и его значения}$$

$$m_{0,0} := \alpha_0 h - \alpha_1 \quad m_{0,1} := \alpha_1 \quad d_0 := \gamma_0 h \quad \ll \text{коэффициенты 0-уравнения в MathCAD}$$

$$i := 1..n-1 \quad m_{i,i-1} := 1 - p(x_i) \frac{h}{2} \quad m_{i,i} := b_i \quad m_{i,i+1} := 1 + p(x_i) \frac{h}{2} \quad d_i := f(x_i)h_i^2 \quad \text{«коэф. i-уравнения.}$$

$$m_{n,n-1} := \beta_1 m_{n,n} := \beta_0 h + \beta_1 \quad d_n := \gamma_1 h \quad \text{«коэффициенты n-уравнения в MathCAD.}$$

Для контроля выведем на экран MathCAD элементы системы уравнений:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.939	-2.011	1.061	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.928	-2.012	1.072	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0.915	-2.013	1.085	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0.902	-2.014	1.098	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0.888	-2.015	1.113	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0.872	-2.016	1.128	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0.855	-2.017	1.145	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0.838	-2.018	1.162	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.82	-2.019	1.18
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1.3

	0
0	0.1
1	0.014
2	0.004
3	-0.002
4	-0.006
5	-0.008
6	-0.01
7	-0.01
8	-0.011
9	-0.011
10	0.05

«Выведем таблицу значений приближённого и точного решений на экран MathCAD:

$$u := m^{-1}d$$

$$u^T =$$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,8276	0,6963	0,5941	0,5131	0,4478	0,3944	0,3502	0,3132	0,282	0,2554

$$ut^T =$$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,8264	0,6944	0,5917	0,5102	0,4444	0,3906	0,346	0,3086	0,277	0,25

Как видно из таблиц значений приближённое и точное решение совпадают с точностью 0.01.

Литература:

1. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1981.
2. Вержбицкий, В. М. Численные методы. М.:ООО, «ОНИКС–21 век», 2005. –400 с.
3. Имомов, А. Организация численных методов в MathCAD. Молодой учёный, №6 (65), май 1, 2014 г.-с. 15–19.
4. Ирискулов, С. С., Исманова К. Д., Олимов М., Имомов А. Численные методы и алгоритмы. MathCAD. Учебное пособие.. Наманган, Изд-во «Наманган»,2013. –278 с.
5. Поршнев, С. В., Беленкова И. В. Численные методы на базе MathCAD. СПб, 2005. –464 с.
6. Ракитин, В. И. Руководство по ВМ и приложения MathCAD. М.:ФМ, 2005. –264 с.
7. Охорзин, В. А. Прикладная математика в системе MathCAD. СПб, Лань,2008–352 с.

Решение краевой задачи для линейных дифференциальных уравнений в частных производных в Mathcad

Имомов Адаш Имомович, кандидат физико-математических наук, доцент
Наманганский государственный университет (Узбекистан)

В настоящее время появилась возможность решения математических задач без составления компьютерных программ на алгоритмических языках. Причиной этого является разработка специальных математических программ — математических систем. В вузах и научных учреждениях чаще всего применяются математические системы: MATHCAD, MATLAB, Maple, Mathematica. С применением математических систем учебный процесс становится интереснее, студенты понимают содержание занятия быстрее, глубже, а для укрепления преподаваемых понятий и решения задач остаётся больше времени.

В последнее время задачи вычислительной математики [1,2] по преимуществу решают в математической системе MATHCAD [3–6]. Именно в MATHCAD задача формулируется в наиболее естественном математическом виде, а в других математических системах шаги алгоритма решения задачи записываются с помощью команд системы.

В статье алгоритмы методов конечно-разностных схем приближённого решения линейного параболического и гиперболического дифференциальных уравнений с краевыми условиями организованы в математической системе MATHCAD.

1. Метод решения дифференциальных уравнений в MATHCAD.

Пусть дана краевая задача для дифференциального уравнения $L\bar{u} = f$ в непрерывной области D . Сопоставим ей некоторую дискретную задачу $L_h u_h = f_h$ в дискретной области $D_h = \{(x_i, t_j)\} \in D$, где h — параметр дискретизации и $D_h \rightarrow D$, при $h \rightarrow 0$, и L_h — дискретный оператор, а переменные u_h, f_h — дискретные функции, такие, что $u_h \approx \bar{u}_h$, $\bar{u}_h = \bar{u}|_{D_h}$, $L_h \approx L$, $f_h \approx f|_{D_h}$, т. е. u_h, \bar{u}_h — каркас — таблица значений функций $u(x, t), \bar{u}(x, t)$ на сетке точек D_h . В качестве дискретной задачи мы берем конечно-разностную схему (КРС), и тогда дискретная задача есть система алгебраических уравнений (СЛАУ), и элементы u_h, \bar{u}_h есть таблица значений функций. В MATHCAD идея решения дискретной задачи $L_h u_h = f_h$ очень проста и естественна: $u_h = L_h^{-1} f_h$. Эта идея имеет место даже тогда, когда элементы u_h, f_h являются матрицами: $L_h U_h = F_h$, где L_h, U_h, F_h — матрицы [3–6].

Команды в MATHCAD отличаются от математических формул с лишь следующим: знак ($:=$) означает определение, знак равенство ($=$) или стрелка (\rightarrow) означает вывод вычисленного значения. После знака «записывается текст замечание».

2. Дифференциальные краевые задачи и КРС [1,2].

А) Рассмотрим краевую задачу для параболического уравнения:

$$Lu = u_t(x, t) - u_{xx}(x, t) = f(x, t), \quad a \leq x \leq b, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

$$l_0 u = u(x, 0) = g_0(x), \quad \mu_1 u = u(a, t) = g_1(t), \quad \mu_2 u = u(b, t) = g_2(t). \quad (2)$$

(1), (2) называется краевой задачей для параболического дифференциального уравнения (КЗ для ПДУ). Функция $\bar{u} = \bar{u}(x, t)$, удовлетворяющая ПДУ и краевым условиям называется точным решением: $L\bar{u} = F$, $L = [L, l_0, \mu_1, \mu_2]^T$, $F = [f, g_0, g_1, g_2]^T$.

Явная КРС $L_h u_h = f_h, l_h u_h = g_h$ для ПДУ с точностью $O(\tau + h^2)$ имеет вид:

$$\tau^{-1}(u_i^{j+1} - u_i^j) - h^{-2}(u_{i+1}^j - 2u_i^j + u_{i-1}^j) - f_i^j = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 0, \dots, n-1. \quad (3)$$

Неявная КРС $L_h u_h = f_h, l_h u_h = g_h$ для ПДУ с точностью $O(\tau + h^2)$ имеет вид:

$$\tau^{-1}(u_i^{j+1} - u_i^j) - h^{-2}(u_{i+1}^{j+1} - 2u_i^{j+1} + u_{i-1}^{j+1}) - f_i^{j+1} = 0, \quad i = 1, \dots, m-1, \quad j = 0, \dots, n-1. \quad (4)$$

К (3) и (4) необходимо присоединить начальные и краевые условия

$$u_i^0 = u_0(x_i), \quad i = 0, \dots, m, \quad u_0^{j+1} = g_1(t_{j+1}), \quad u_m^{j+1} = g_2(t_{j+1}), \quad j = 0, \dots, n-1. \quad (5)$$

Явная КРС для ПДУ решается с помощью рекуррентных формул:

$$u_i^{j+1} = r(u_{i-1}^j + u_{i+1}^j) + (1 - 2r)u_i^j + \tau f_i^j, \quad i = 1, \dots, m-1; \quad j = 0, \dots, n-1, \quad r = \tau / h^2, \quad (6)$$

Неявная КРС для ПДУ на каждом слое j сводится к системе линейных уравнений:

$$-ru_{i-1}^{j+1} + (1+2r)u_i^{j+1} - ru_{i+1}^{j+1} = u_i^j + \tau f_i^{j+1}, i = 1, \dots, m-1; j = 0, \dots, n-1, r = \tau / h^2. \quad (7)$$

Неявная КРС для ПДУ на каждом слое j есть система линейных уравнений с трёхдиагональной матрицей и, начиная с первого слоя, решается методом прогонки.

Вводя матрицу $A = [a_{ij}]$ с коэффициентами $0) a_{00} = 1, i = 1..m, a_{0i} = 0;$

$$i) i = 1..m-1, a_{i-1} = a_{i+1} = -r, a_{ii} = 1+2r, a_{ij} = 0, j \neq i-1, i, i+1; m) a_{mi} = 0, i = 0..m-1, a_{mm} = 1,$$

и векторы $u^{<j>} = [u_0^j, u_1^j, \dots, u_m^j]^T, f^{<j>} = [f_0^j, f_1^j, \dots, f_m^j]^T$ неявную схему можно записать в векторно-матричном виде, связывающим неизвестные j -го и $j+1$ -го слоёв

$$Au^{<j+1>} = u^{<j>} + \tau f^{<j>}, j = 0..n-1. \quad (8)$$

В) Рассмотрим краевую задачу для гиперболического уравнения:

$$Lu = u_{tt}(x, t) - u_{xx}(x, t) = f(x, t), a \leq x \leq b, 0 \leq t \leq T, \quad (9)$$

$$l_0 u = u_0(x), l_1 u = u_t(x, 0) = u_1(x), \mu_1 u = u(a, t) = g_1(t), \mu_2 u = u(b, t) = g_2(t). \quad (10)$$

(9), (10) называется краевой задачей для гиперболического дифференциального уравнения (КЗ для ГДУ). Функция $\bar{u} = \bar{u}(x, t)$, удовлетворяющая ГДУ и краевым условиям называется точным решением: $L\bar{u} = F, L = [L, l_0, l_1, \mu_1, \mu_2]^T, F = [f, u_0, u_1, g_1, g_2]^T$.

Явная КРС $L_h u_h = f_h, l_h u_h = g_h$ для ГДУ с точностью $O(\tau + h^2)$ имеет вид:

$$\tau^{-2}(u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}) - h^{-2}(u_{i+1}^j - 2u_i^j + u_{i-1}^j) - f_i^j = 0, i = 1, \dots, m-1, j = 1, \dots, n-1.$$

$$u_i^0 = u_0(x_i), u_i^1 = u_i^0 + \tau u_1(x_i), i = 0, \dots, m, u_0^{j+1} = g_1(t_{j+1}), u_m^{j+1} = g_2(t_{j+1}), j = 0, \dots, n-1.$$

Неявная КРС $L_h u_h = f_h, l_h u_h = g_h$ для ГДУ с точностью $O(\tau + h^2)$ имеет вид:

$$\tau^{-2}(u_i^{j+1} - 2u_i^j + u_i^{j-1}) - h^{-2}(u_{i+1}^{j+1} - 2u_i^{j+1} + u_{i-1}^{j+1}) - f_i^{j+1} = 0, i = 1, \dots, m-1, j = 1, \dots, n-1.$$

$$u_i^0 = u_0(x_i), u_i^1 = u_i^0 + \tau u_1(x_i), i = 0, \dots, m, u_0^{j+1} = g_1(t_{j+1}), u_m^{j+1} = g_2(t_{j+1}), j = 0, \dots, n-1.$$

Используя матрицу $A = [a_{ij}]$, неявную схему можно записать в векторно-матричном виде,

$$Au^{<j+1>} = -u^{<j-1>} + u^{<j>} + \tau^2 f^{<j+1>}, j = 1..n-1, \quad (11)$$

которая связывает неизвестные $j-1, j$ -го и $j+1$ -го слоёв.

Явная КРС для ГДУ решается с помощью рекуррентных формул: $u_i^0 = u_0(x_i), u_i^1 = u_i^0 + \tau u_1(x_i), i = 0, \dots, m, u_0^{j+1} = g_1(t_{j+1}), u_m^{j+1} = g_2(t_{j+1}), j = 0, \dots, n-1.$

$$u_i^{j+1} = r(u_{i-1}^j + u_{i+1}^j) + 2(1-r)u_i^j + \tau^2 f_i^j - u_i^{j-1}, j = 0, \dots, n-1$$

Неявная КРС для ГДУ на каждом слое j есть система линейных уравнений с трёхдиагональной матрицей и, начиная со второго слоя, решается методом прогонки:

$$u_i^0 = u_0(x_i), u_i^1 = u_i^0 + \tau u_1(x_i), i = 0, \dots, m, u_0^{j+1} = g_1(t_{j+1}), u_m^{j+1} = g_2(t_{j+1}), j = 0, \dots, n-1.$$

$$-ru_{k-1}^{j+1} + (1+2r)u_k^{j+1} - ru_{k+1}^{j+1} = \tau^2 f_k^j + 2u_k^j - u_k^{j-1}, j = 1, \dots, n-1, r = (\tau / h)^2.$$

Для ГДУ в явной и неявной КРС аппроксимацию можно улучшить до $O(\tau^2 + h^2)$, если аппроксимацию начальных условий взять в следующем виде:

$$u_k^0 = u_0(x_k), u_k^1 = u_k^0 + \tau u_1(x_k) + 0.5\tau^2 \{f_k^0 + \Lambda_{xx} u_0(x_k)\}, k = 1, \dots, m-1.$$

3. Организация решения КРС для ПДУ в MATHCAD.

Пусть дана краевая задача для параболического уравнения (1), (2) с данными:

$$ua(x,t) := (x - x^2)e^t, f(x,t) = (x - x^2 + 2)e^t. \tag{12}$$

$$u0(x) = (x - x^2), g1(t) = 0, g2(t) = 0. \tag{13}$$

А) Решение с помощью внутренней функции Pdesolve.

Вводим в окне MATHCAD следующие команды:

$$a := 0 \quad b := 1 \quad L := b - a \quad T := 0.05 \quad \text{«область»}$$

$$m := 10 \quad n := 5 \quad i := 0..m \quad j := 0..n, h := L / m \quad \tau := T / n \quad x_i := a + ih \quad t_j := j\tau \quad \text{«сетка»}$$

$$u0(x) := x - x^2 \quad f(x,t) := (x - x^2 + 2)e^t \quad g1(t) := 0 \quad g2(t) := 0 \quad \text{«начальные данные»}$$

Given $u_t(x,t) = u_{xx}(x,t) + f(x,t)$ «ПДУ, равенство жирное»

$u(x,0) = u0(x) \quad u(0,t) = g1(t) \quad u(1,t) = g2(t)$ «краевые условия, равенство жирное»

$$u := Pdesolve \left[u, x, \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}, t, \begin{pmatrix} 0 \\ T \end{pmatrix}, m, n \right] \quad u_{i,j} := u(x_i, t_j) \quad \text{«обращение к Pdesolve»}$$

$$ua(x,t) := (x - x^2)e^t \quad ua_{i,j} := ua(x_i, t_j) \quad \text{«решения } u(x,t), u_h, \bar{u}_h$$

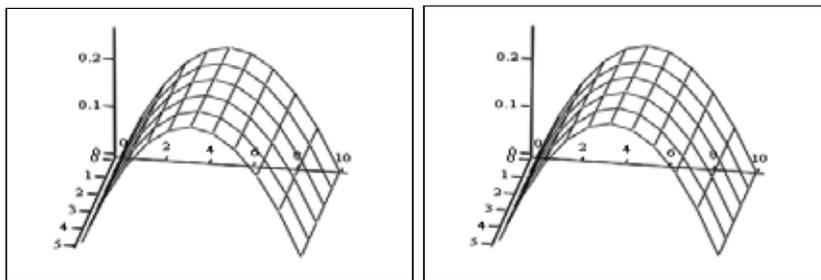
«выведем таблицу значений приближённого решения»

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$u^T =$	0	0.089	0.158	0.207	0.237	0.247	0.237	0.207	0.158	0.089
	1	0	0.09	0.16	0.209	0.239	0.249	0.239	0.209	0.09
	2	0	0.091	0.161	0.212	0.242	0.252	0.242	0.212	0.091
	3	0	0.092	0.163	0.214	0.244	0.254	0.244	0.214	0.092
	4	0	0.093	0.164	0.216	0.247	0.257	0.247	0.216	0.093
	5	0	0.093	0.166	0.218	0.249	0.26	0.249	0.218	0.093

«выведем таблицу значений точного решения»

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ua^T =$	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09
	1	0	0.091	0.162	0.212	0.242	0.253	0.242	0.162	0.091
	2	0	0.092	0.163	0.214	0.245	0.255	0.245	0.163	0.092
	3	0	0.093	0.165	0.216	0.247	0.258	0.247	0.165	0.093
	4	0	0.094	0.167	0.219	0.25	0.26	0.25	0.219	0.094
	5	0	0.095	0.168	0.221	0.252	0.263	0.252	0.221	0.095

«выведем графики приближённого и точного решений»



u^T

ua^T

В) Решение явной КРС для ПДУ в MATHCAD.

Записываем в окне MATHCAD следующие команды:

$$a := 0 \quad b := 1 \quad L := b - a \quad T := 0.05 \quad \text{«область»}$$

$$m := 10 \quad n := 5 \quad i := 0..m \quad j := 0..n, h := L / m \quad \tau := T / n \quad x_i := a + ih \quad t_j := j\tau \quad \text{«сетка»}$$

$$u0(x) := x - x^2 \quad f(x, t) := (x - x^2 + 2)e^t \quad g1(t) := 0 \quad g2(t) := 0 \quad \text{«начальные данные»}$$

$$u_{i,0} := u0(x_i) \quad u_{0,j} := g1(t_j) \quad u_{m,j} := g2(t_j) \quad \text{«дополнительные условия»}$$

«последнее вычисление и вывод u_h

$$i := 1..m-1 \quad j := 0..n-1 \quad u_{i,j+1} := r(u_{i-1,j} + u_{i+1,j}) + (1-2r)u_{i,j} + \tau f(x_i, t_j) \quad u^T =$$

$$ua(x, t) := (x - x^2)e^t \quad ua_{i,j} := ua(x_i, t_j) \quad ua^T = \text{«вычисление и вывод } \bar{u}_h$$

Отметим, что таблицы значений приближённого и точного решений совпадают с соответствующими таблицами из пункта А), полученными внутренней функцией **Pdsolve**.

С) Решение неявной КРС для ПДУ в MATHCAD.

Записываем в окне MATHCAD следующие команды:

$$a := 0 \quad b := 1 \quad L := b - a \quad T := 0.05 \quad \text{«область»}$$

$$m := 10 \quad n := 5 \quad i := 0..m \quad j := 0..n, h := L / m \quad \tau := T / n \quad x_i := a + ih \quad t_j := j\tau \quad \text{«сетка»}$$

$$ua(x, t) := (x - x^2)e^t \quad ua_{i,j} := ua(x_i, t_j) \quad \text{«точное решение и его каркас } \bar{u}_h$$

$$u0(x) := x - x^2 \quad f(x, t) := (x - x^2 + 2)e^t \quad g1(t) := 0 \quad g2(t) := 0 \quad \text{«начальные данные»}$$

$$u_{i,0} := u0(x_i) \quad u_{0,j} := g1(t_j) \quad u_{m,j} := g2(t_j) \quad \text{«дополнительные условия»}$$

$$A_{0,0} := 1 \quad i := 1..m \quad A_{0,i} := 0 \quad A_{m,m} := 1 \quad i = 0..m-1 \quad A_{m,i} := 0 \quad \text{«ввод матрицу СЛАУ»}$$

$$i := 1..m-1 \quad A_{i,i-1} := -r \quad A_{i,i+1} := -r \quad A_{i,i} := 1 + 2r \quad \text{«ввод матрицу СЛАУ»}$$

$$i := 1..m-1 \quad j := 0..n-1 \quad d_{0,j} := g1(t_{j+1}) \quad d_{m,j} := g2(t_{j+1}) \quad d_{i,j} := \tau f_{i,j+1}$$

$$j := 0..n-1 \quad u^{<j+1>} := A^{-1}(d^{<j>} + u^{<j>}) \quad \text{«вычисление } u_h$$

A= «выведем для контроля матрицу A

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-0.5	2	-0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	-0.5	2	-0.5	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-0.5	2	-0.5	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	-0.5	2	-0.5	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	-0.5	2	-0.5	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	-0.5	2	-0.5	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	-0.5	2	-0.5	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	2	-0.5	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	2	-0.5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

$$u^T = \quad \text{«вывод каркаса решения } u_h$$

$$ua^T = \quad \text{«вывод каркаса решения } \bar{u}_h$$

Отметим, что таблицы значений приближённого и точного решений совпадают с соответствующими таблицами из пункта А), полученными внутренней функцией **Pdsolve**.

4. Организация решения КРС для ГДУ в MATHCAD.

Рассмотрим краевую задачу для гиперболического уравнения (9), (10) с данными:

$$ua(x, t) := (x - x^2)e^t, f(x, t) = (x - x^2 + 2)e^t, \tag{12}$$

$$u(x, 0) = x - x^2, u_t^1(x) = x - x^2, u(a, t) = 0, u(b, t) = 0. \tag{14}$$

А) Решение с помощью внутренней функции Pdsolve.

Для решения ГДУ внутренней функцией записываем следующие команды:

$$a := 0 \quad b := 1 \quad L := b - a \quad T := 0.0005 \quad \text{«область»}$$

$m := 10 \ n := 10 \ i := 0..m \ j := 0..n, h := L/m \ \tau := T/n \ x_i := a + ih \ t_j := j\tau$ «сетка
 $ua(x,t) := (x - x^2)e^t \ ua_{i,j} := ua(x_i, t_j)$ «точное решение и его каркас \bar{u}_h
 $u0(x) := x - x^2 \ ul(x) := x - x^2 \ f(x,t) := (x - x^2 + 2)e^t \ g1(t) := 0 \ g2(t) := 0$ «данные
 Given $w_t(x,t) = v(x,t) \ v_t(x,t) = w_{xx}(x,t) + f(x,t)$ «ГДУ, равенство жирное
 $w(x,0) = u0(x) \ v(x,0) = ul(x) \ w(0,t) = g1(t) \ w(1,t) = g2(t)$ «данные,
 $\begin{pmatrix} w \\ v \end{pmatrix} := Pdesolve \left[\begin{pmatrix} w \\ v \end{pmatrix}, x, \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}, t, \begin{pmatrix} 0 \\ T \end{pmatrix}, m, n \right] \ u_{i,j} := w(x_i, t_j)$ «обращение к Pdesolve

«Выведем таблицу точного и приближённого решений

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.0889	0.158	0.2074	0.237	0.2469	0.237	0.2074	0.158	0.0889	0
1	0	0.0898	0.1596	0.2095	0.2394	0.2494	0.2394	0.2095	0.1596	0.0898	0
2	0	0.0907	0.1612	0.2116	0.2418	0.2519	0.2418	0.2116	0.1612	0.0907	0
3	0	0.0916	0.1628	0.2137	0.2443	0.2544	0.2443	0.2137	0.1628	0.0916	0
4	0	0.0925	0.1645	0.2159	0.2467	0.257	0.2467	0.2159	0.1645	0.0925	0
5	0	0.0934	0.1661	0.218	0.2492	0.2596	0.2492	0.218	0.1661	0.0934	0

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
1	0	0.0909	0.1616	0.2121	0.2424	0.2525	0.2424	0.2121	0.1616	0.0909	0
2	0	0.0918	0.1632	0.2142	0.2448	0.2551	0.2448	0.2142	0.1632	0.0918	0
3	0	0.0927	0.1649	0.2164	0.2473	0.2576	0.2473	0.2164	0.1649	0.0927	0
4	0	0.0937	0.1665	0.2186	0.2498	0.2602	0.2498	0.2186	0.1665	0.0937	0
5	0	0.0946	0.1682	0.2208	0.2523	0.2628	0.2523	0.2208	0.1682	0.0946	0

В) Решение явной КРС для ГДУ в MATHCAD.

Записываем следующие команды (шаги алгоритма):

$a := 0 \ b := 1 \ L := b - a \ T := 0.05 \ m := 10 \ n := 5 \ i := 0..m \ j := 0..n$ «область
 $h := L/m \ \tau := T/n \ x_i := a + ih \ t_j := j\tau \ r := \tau^2 / h^2$ «сетка
 $ua(x,t) := (x - x^2)e^t, ua_{i,j} := ua(x_i, t_j)$ «точное решение и его каркас
 $u0(x) := x - x^2 \ ul(x) := x - x^2 \ f(x,t) := (x - x^2 + 2)e^t \ g1(t) := 0 \ g2(t) := 0$ «данные
 $u_{i,0} := u0(x_i) \ u_{i,1} := u_{i,0} + \tau ul(x_i) \ u_{0,j} := g1(t_j) \ u_{m,j} := g2(t_j)$ «явная КРС
 $i := 1..m - 1 \ j := 1..n - 1 \ u_{i,j+1} := r(u_{i-1,j} + u_{i+1,j}) + 2(1-r)u_{i,j} + \tau^2 f(x_i, t_j) - u_{i,j-1}$

«Вывод таблицу значений приближённого и точного решений:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
1	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
2	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.2501	0.24	0.21	0.16	0.09	0
3	0	0.09	0.16	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.16	0.09	0
4	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
5	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
6	0	0.0901	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.0901	0
7	0	0.0901	0.1601	0.2101	0.2402	0.2502	0.2402	0.2101	0.1601	0.0901	0
8	0	0.0901	0.1601	0.2102	0.2402	0.2502	0.2402	0.2102	0.1601	0.0901	0
9	0	0.0901	0.1601	0.2102	0.2402	0.2502	0.2402	0.2102	0.1601	0.0901	0
10	0	0.0901	0.1602	0.2102	0.2402	0.2502	0.2402	0.2102	0.1602	0.0901	0

$$u^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
1	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
2	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.2501	0.24	0.21	0.16	0.09	0
3	0	0.09	0.16	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.16	0.09	0
4	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
5	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
6	0	0.0901	0.1601	0.2101	0.2401	0.2502	0.2401	0.2101	0.1601	0.0901	0
7	0	0.0901	0.1601	0.2101	0.2402	0.2502	0.2402	0.2101	0.1601	0.0901	0
8	0	0.0901	0.1601	0.2102	0.2402	0.2502	0.2402	0.2102	0.1601	0.0901	0
9	0	0.0901	0.1601	0.2102	0.2402	0.2502	0.2402	0.2102	0.1601	0.0901	0
10	0	0.0901	0.1602	0.2102	0.2402	0.2503	0.2402	0.2102	0.1602	0.0901	0

«Только при увеличении десятичных разрядов можно увидеть разницу.

С) Решение неявной КРС для ГДУ в МАТНСАД.

Записываем следующие команды (шаги алгоритма):

```

a := 0 b := 1 L := b - a T := 0.0005 m := 10 n := 10 i := 0..m j := 0..n «область
h := L / m τ := T / n x_i := a + ih t_j := jτ u_{i,j} := ua(x_i, t_j) r := τ^2 / h^2 «сетка
ua(x, t) := (x - x^2)e^t, u_{i,j} := ua(x_i, t_j) «точное решение и его каркас
u0(x) := x - x^2 u1(x) := x - x^2 f(x, t) := (x - x^2 + 2)e^t g1(t) := 0 g2(t) := 0 «данные
u_{i,0} := u0(x_i) u_{i,1} := u_{i,0} + τu1(x_i) u_{0,j} := g1(t_j) u_{m,j} := g2(t_j) «дополнительные условия
A_{0,0} := 1 i := 1..m A_{0,i} := 0 «задание матрицы неявной КРС
i := 1..m-1 A_{i,i-1} := -r A_{i,i+1} := -r A_{i,i} := 1 + 2r «задание матрицы неявной КРС
i := 0..m-1 A_{m,i} := 0 A_{m,m} := 1 «задание матрицы неявной КРС
d_{i,j} := τ^2 f(x_i, t_j) «задание правой части в КРС
    
```

«Организуем вычисления по неявной схеме

$$j := 1..n-1 \quad u^{<j+1>} := A^{-1}(-u^{<j-1>} + 2u^{<j>} + \tau^2 f^{<j+1>})$$

«Для контроля выведем значения приближённого решения на 0-ом, и 1-ом слоях

$$u^{<0>T} =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0

$$u^{<1>T} =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0

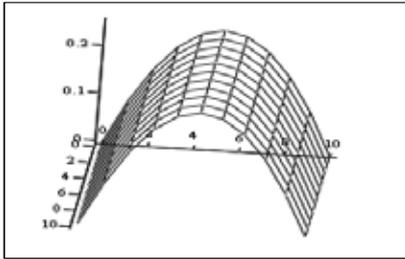
«Выведем таблицу значений точного и приближённого решений

$$u^T =$$

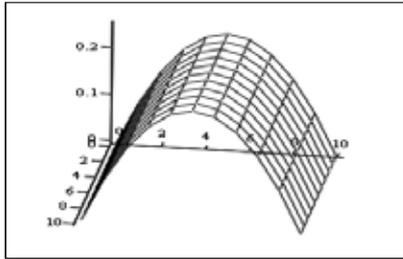
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
1	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
2	0	0.0899	0.1599	0.2099	0.2399	0.2499	0.2399	0.2099	0.1599	0.0899	0
3	0	0.0897	0.1597	0.2097	0.2397	0.2497	0.2397	0.2097	0.1597	0.0897	0
4	0	0.0894	0.1594	0.2094	0.2394	0.2494	0.2394	0.2094	0.1594	0.0894	0
5	0	0.089	0.159	0.2091	0.2391	0.2491	0.2391	0.2091	0.159	0.089	0
6	0	0.0886	0.1585	0.2086	0.2386	0.2486	0.2386	0.2086	0.1585	0.0886	0
7	0	0.088	0.158	0.208	0.238	0.248	0.238	0.208	0.158	0.088	0
8	0	0.0873	0.1573	0.2073	0.2373	0.2473	0.2373	0.2073	0.1573	0.0873	0
9	0	0.0866	0.1565	0.2065	0.2365	0.2465	0.2365	0.2065	0.1565	0.0866	0
10	0	0.0858	0.1556	0.2056	0.2356	0.2456	0.2356	0.2056	0.1556	0.0858	0

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
1	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
2	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
3	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.16	0.09	0
4	0	0.09	0.16	0.21	0.24	0.2501	0.24	0.21	0.16	0.09	0
5	0	0.09	0.16	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.16	0.09	0
6	0	0.09	0.16	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.16	0.09	0
7	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
8	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
9	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0
10	0	0.09	0.1601	0.2101	0.2401	0.2501	0.2401	0.2101	0.1601	0.09	0

«Выведем графики приближённого и точного решений:



u^T



ua^T

Литература:

1. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1981. — 456 с.
2. Вержбицкий, В. М. Основы численных методов. М.: ВШ, 2002. — 840 с.
3. Поршнев, С. В., Беленкова И. В. Численные методы на базе MATHCAD. СПб, 2005. — 464 с.
4. Ракитин, В. И. Руководство по ВМ и приложения MATHCAD. М.: ФМ, 2005. — 264 с.
5. Имомов, А. Организация численных методов в MATHCAD. Молодой учёный, №6 (65), май 1, 2014 г. - с. 15–19.
6. Ирискулов, С. С., Исманова К. Д., Олимов М., Имомов А. Численные методы и алгоритмы. MATHCAD. Учебное пособие. — Наманган, Изд-во «Наманган», 2013. — 278 с.

Математическое моделирование в биологии

Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук, доцент;
 Мартынова Анастасия Дмитриевна, студент
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Современное развитие науки характеризуется потребностью сложного изучения всевозможных сложных процессов и явлений — физических, химических, биологических, экономических, социальных и других. Происходит значительное увеличение темпов математизации и расширение ее области действия. Применение математического моделирования настолько широко и применяется в других науках, казалось бы совершенно далеких от математики — лингвистике, юриспруденции и рассмотренной нами в данной статье биологии.

Задача, как правило, порождена потребностями той или иной прикладной области и математически моделирую ее мы получаем решение различных вопросов, казалось и не связанных с математикой. Вполне понятно, что при этом происходит одна из возможных математических формализаций реальной ситуации. Рассмотрим одну из задач биологии. Число особей в популяции меняется со временем. Если условия существования популяции благоприятны, то рождаемость превышает смертность и общее число особей в популяции растет со временем. Опишем математически данную задачу. Назовем скорость роста популяции прирост числа особей в единицу времени. Обозначим эту скорость $v=v(t)$. В «старых», установившихся популяциях, давно обитающих в данной местности, скорость роста $v(t)$ мала и медленно стремится к 0. Но если популяция молода, ее взаимоотношения с другими местными популяциями еще не установились или существуют внешние причины, изменяющие эти взаимоотношения, например сознательное вмешательство человека, то $v(t)$ может значительно колебаться, уменьшаться или увеличиваться.

Если известна скорость роста популяции $v(t)$, то мы можем найти прирост численности популяции за промежутки времени от t_0 до T . В самом деле из определения $v(t)$ следует, что эта функция является производной от численности популяции $N(t)$ в момент t , и, следовательно, численность популяции $N(t)$ является первообразной для $v(t)$. Поэтому

$$N(T) - N(t_0) = \int_{t_0}^T v(t) dt \tag{1}$$

Известно, что в условиях неограниченных ресурсов питания, скорость роста многих популяций экспоненциальна, т.е. $v(t) = ae^{kt}$. Популяция в этом случае как бы «не стареет». Такие условия можно создать, например, для микроорганизмов, пересаживая время от времени развивающуюся культуру в новую емкость с питательной средой. Применяя формулу (1), в этом случае получим:

$$N(T) = N(t_0) + a \int_{t_0}^T e^{kt} dt = N(t_0) + \frac{a}{k} e^{kt} \Big|_{t_0}^T = N(t_0) + \frac{a}{k} (e^{kT} - e^{kt_0}) \tag{2}$$

По формуле, подобной (2), подсчитывают, в частности численность культивируемых грибков, выделяющих пенициллин.

Рассмотрим микробиологическую задачу. Установим закон изменения со временем (t) численности бактерий (N), помещенных в питательную среду.

Для составления дифференциального уравнения, отражающего существование бактерий в этих условиях, необходим некоторый факт, который следует записать в математической форме. На основании экспериментальных данных и общих соображений таким фактом может служить утверждение: «скорость размножения бактерий (математически) пропорциональна их числу (N) в данный момент времени».

Таким образом, необходимое дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\frac{dN}{dt} = kN \tag{3}$$

где k — доступный экспериментальному определению коэффициент пропорциональности, зависящий от вида бактерий и параметров среды их обитания. Дополнительные данные, необходимые для решения задачи следуют из начального условия: при $t=0$, $N = N_0$, т.е. в начальный момент времени количество бактерий считается известным и равным N_0 .

Для решения уравнения (3) произведем разделение переменных и последующее интегрирование:

$$\int \frac{dN}{N} = k \int dt \Rightarrow \ln N = kt + \ln C \tag{4}$$

Произвольную постоянную в уравнении (4) удобно представить в виде $\ln C$. Из начального условия: $C = N_0$.

Решая логарифмическое уравнение (4) с учетом начального условия, получим искомый закон изменения числа бактерий со временем:

$$N = N_0 e^{kt} \tag{5}$$

Произведем некоторый анализ результата. В чем его сиюминутная практическая полезность и возможные более отдаленные выводы?

- 1) Зная коэффициент k и начальное число бактерий N_0 , легко определить их число в любой момент времени t .
- 2) Прирост бактериальной массы определяется через коэффициент k условиями среды обитания бактерий.

Чем больше значение k , тем быстрее увеличивается число бактерий

Если существуют факторы, препятствующие размножению бактерий (повышенная температура, ионизирующие излучения и др.), то коэффициент k в формулах (4)–(5) уменьшается и может принять отрицательное значение — в этом случае будет наблюдаться гибель бактерий.

3) С некоторым риском можно попытаться придать полученному для бактерий результату (5) большую общность и сформулировать утверждение: «любой биологический вид, находясь в оптимальных для своего существования условиях, экспоненциально увеличивает свою численность со временем». Примеры справедливости этого утверждения можно наблюдать. Так, кролики, завезенные в Австралию, где практически нет хищников, которые бы ими питались, увеличили свое число в соответствии с формулой (5) и стали представлять серьезную опасность для сельского хозяйства.

Рассмотрим пример решения данного типа задач: Выращена популяция бактерий численностью 10^6 . Внезапно начинается гибель бактерий, причем за первую минуту число погибших бактерий составило 10^4 . Определить, за какое время погибнет вся популяция, если известно, что скорость гибели пропорциональна численности популяции.

Изменение численности популяции N запишем дифференциальным уравнением

$$\frac{dN}{dt} = -kN; \frac{dN}{N} = -kdt; \int \frac{dN}{N} = -k \int dt; \ln N = -kt + \ln C$$

$$N = N_0 e^{-kt}; C = N_0$$

$$\text{Найдем } k: k = \frac{1}{t} \ln \frac{N_0}{N}$$

По условию за 1 минуту погибло 10^4 бактерий, значит $k = 0,01$

$$\text{Время гибели } t = \frac{1}{k} \ln \frac{N_0}{N}$$

Считая нижней границей популяции значение $N = 1$, окончательно получаем

$$t = \frac{1}{0,01} * \ln 10^6 = 100 * \ln 10^6 = 600 * \ln 10 \approx 1382 \text{ минуты} \approx 23 \text{ часа}$$

Получили решение биологической задачи путем составления математической модели и применения интегрального исчисления.

Литература:

1. Акимова, И. В., Ермолаева Е. И. Использование специальных программных средств в математическом моделировании // В мире научных открытий. 2012. № 5.4. с. 85–96.
2. Ермолаева, Е. И. Математическое моделирование физических процессов в теории вероятностей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. № 10. с. 13–15.
3. Крымская, Ю. А., Титова Е. И., Ячинова С. Н. Построение математических моделей в прикладных задачах // Молодой ученый. 2013. № 12 (59). с. 3–6.

ФИЗИКА

Установка для измерения газочувствительных слоев методом спектроскопии импеданса

Воробьев Дмитрий Михайлович, студент;

Пермяков Никита Вадимович, аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В. И. Ульянова (Ленина)

Введение

Нанонаука занимается фундаментальными проблемами естествознания в наномасштабе; ее результаты реализуются в нанотехнологиях в форме наноустройств, наносистем, новых веществ и наноматериалов [1–2].

Получение материалов, обладающих сенсорными свойствами, и создание на их основе соответствующих устройств — важная проблема. Новые сенсорные материалы имеют важное социальное и экономическое значение.

Многообразие сенсоров, предназначенных для использования в различных областях науки, техники и промышленного производства, отражено в монографии [3–4]. Ниже приведены основные области применения сенсоров [5–12]:

- контроль за летучими продуктами горения в промышленности,
- анализ выхлопных газов автомобилей,
- контроль качества пищевых продуктов,
- диагностика некоторых заболеваний,
- исследование превращений клеток живых организмов,
- определение чистоты лекарственных препаратов в фармакологии,
- мониторинг окружающей среды.

В настоящее время материалы и сенсоры, используемые для определения горючих и токсичных газов, летучих органических соединений и для диагностики некоторых заболеваний наиболее востребованы. Они необходимы для предупреждения техногенных катастроф и террористических актов, защиты окружающей среды и здоровья человека.

Некоторые области применения сенсоров на основе наноматериалов

Хеморезистивные сенсоры применяют в различных областях науки, техники, а также на производстве для кон-

троля за технологическими процессами и содержанием токсичных веществ в воздухе, воде и почве.

Мониторинг окружающей среды

Окружающие нас воздух и вода содержат большое (и все увеличивающееся) количество разных примесей с широким диапазоном концентраций. Это стимулирует поиск новых вариантов использования оксидов металлов, составляющих основу традиционных сенсорных материалов. Например, предложена система, состоящая из оксидов SnO₂, ZnO [13–16], WO₃, CuO и In₂O₃, которая в интервале температур 200–400°C позволяет провести определение CH₄, CO, NO, NO₂, NH₃, SO₂, H₂S в потоке [17,18].

Для мониторинга состояния окружающей среды необходимо установить зависимость чувствительности сенсора к определяемому газу от температуры. Изучено влияние температуры на чувствительность тонких пленок диоксида олова, полученных методом электронно-лучевого испарения, при определении разных концентраций водорода, оксида углерода и этилена и проведено кинетическое моделирование кинетики отклика [19].

Недорогой и относительно чувствительный сенсор на водород создан на основе палладиевых нанопроволок, нанесенных на поверхность высокоориентированного пиролитического графита [20]. Сенсор работает при комнатной температуре, в присутствии водорода проводимость на два порядка выше, чем в его отсутствие.

Серная и азотная кислоты, находясь в воздухе, реагируют с аммиаком с образованием частиц сульфата и нитрата аммония. Эти частицы являются зародышами при формировании в воздухе аэрозолей и смога над большими городами. При появлении смога температура воздуха снижается вследствие уменьшения прохождения солнечного света.

Обычно содержание аммиака в воздухе составляет 10–100 млрд⁻¹ и уменьшается до нескольких молекул на 1

млрд над поверхностью океанов. Вблизи животноводческих ферм концентрация аммиака может достигать 10 млн^{-1} (ppm) [21]. Для определения аммиака в атмосфере достаточны времена отклика сенсора порядка минуты; для подачи воздуха к чувствительному материалу используют струевые системы.

Иная ситуация имеет место при определении аммиака в выхлопных газах автомобилей или внутри салона при использовании кондиционеров. Количество аммиака в выхлопных газах необходимо измерять на уровне 8 млн^{-1} [22]. Чтобы предотвратить появление запаха, в салоне концентрация аммиака должна обнаруживаться на уровне не более 50 млн^{-1} , а время отклика сенсора должно составлять несколько секунд.

Выхлопные газы двигателей, работающих на дизельном топливе, содержат большие концентрации NO и NO_2 (NO_x) [23]. Количество токсичных оксидов азота можно значительно снизить путем их селективного каталитического восстановления [24]



Реакцию осуществляют, инжектируя контролируемое количество аммиака в выхлопную систему. Сенсор на аммиак в данном процессе должен измерять его концентрации порядка нескольких молекул на 1 млн, иметь время отклика в пределах одной минуты и функционировать при повышенных температурах [25].

Сенсоры в химической промышленности

Использование сенсоров в химической промышленности рассмотрим на примере определения аммиака. Аммиак получают из молекулярных азота и водорода при высоких температуре и давлении в присутствии катализатора. В основном его применяют в производстве удобрений и в некоторых химических процессах, значительное количество аммиака продолжают использовать в холодильных установках, предназначенных для хранения продуктов питания при температурах ниже 0°C [26]. На предприятиях, связанных с применением аммиака, возможны его утечки, поэтому такие предприятия должны быть снабжены соответствующими системами обнаружения, позволяющими предотвратить загрязнение окружающей среды аммиаком. Максимально допустимое количество аммиака в окружающем воздухе не должно превышать 20 млн^{-1} . Такая концентрация допустима в течение длительного времени; для ее обнаружения можно использовать сенсоры, имеющие время отклика порядка одной минуты. Производство аммиака — высокотемпературное производство, поэтому сенсорные устройства должны выдерживать температуры до 500°C .

В последнее время значительное внимание уделяется созданию новых сенсоров на аммиак. Разработаны сенсоры на микропроводах из оксида серебра [27]. Получены нано-провода из оксида цинка и изучена (с использованием кварцевых микровесов) их чувствительность к аммиаку при комнатной температуре [28], а также

структуры на основе золь — гель структур с добавками фуллеренов [29] и на полианилине [30]. Нанопроволоки синтезировали испарением гранул цинка при 900°C в воздухе и наносили на поверхность кварцевого кристалла. Обнаружено, что с увеличением толщины слоев абсолютная величина отклика к аммиаку линейно возрастает. Образцы были чувствительны к аммиаку в диапазоне его концентраций от 40 до 1000 млн^{-1} . Время отклика составляло ~ 5 с. Сенсоры на нанопроволоках ZnO были стабильны и давали воспроизводимые результаты.

Основу большинства применяемых в химической промышленности сенсоров для определения аммиака составляют полупроводниковые оксиды. В таких сенсорах сигнал определяется изменением проводимости, обусловленным взаимодействием на поверхности сенсора отрицательно заряженных атомов кислорода с газом-восстановителем. Для повышения селективности оксидных сенсоров используют различные допирующие добавки, в частности переходные металлы.

Сенсоры для определения водорода, метана, монооксида углерода и сероводорода созданы путем осаждения на поверхность углеродных нанотрубок частиц металлов, различающихся каталитической активностью. Для селективного определения этих газов использовали методику распознавания образов [31].

Описание установки

Для исследования газочувствительных слоев методом спектроскопии импеданса традиционно использовались разработанные в лаборатории установки, подробно описанные в работах [32].

Эти установки позволяют измерять импеданс в условиях вариации температуры и газовой среды.

Новыми элементами обеспечивающие получение процесса измерения импеданса, являются

- 1) Разработка легко сменяемого измерительного блока при коррозии контактных зондов,
- 2) Реализация 2 х и 4х зондового метода,
- 3) Непрерывное измерение концентрации восстанавливающего газа в измерительной камере путем сравнения с аттестованным промышленным датчиком
- 4) Автоматизированный сбор и обработка экспериментальных результатов.

Схема которой представлена на рисунке 1.

Работа макета может быть описана следующим образом. Газовая смесь попадает в измерительную ячейку, в которой исследуемый образец закрепляется с помощью измерительного зонда. В корпус измерительной ячейки встроен газовый датчик адсорбционного типа фирмы Figago TGS 822, с помощью которого измеряется концентрация подаваемого газа. Далее на измеряемую структуру подается переменный сигнал с импедансметра и снимается отклик. Все данные передаются и обрабатываются на компьютере.

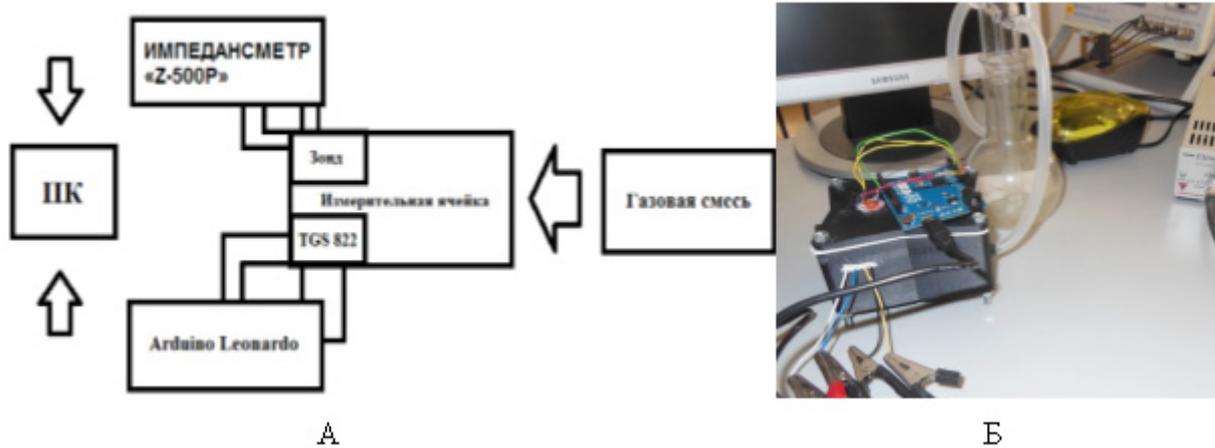


Рис. 1. А — Схема установки, Б — фотография собранной установки

Поверхность образцов изучалась в сканирующем зондовом микроскопе [33]. Для оценки развитости поверхности применялся подсчет фрактальной размерности поверхности по данным изображений полученных в сканирующем зондовом микроскопе [34].

Результаты, полученные с помощью созданной установки методом спектроскопии импеданса, представлены на рисунке 2.

Так как экспериментальные данные выглядят в виде окружностей (Рисунок 2), следовательно, и описывать их нужно в виде окружностей. Для этого мы использовали метод наименьших квадратов.

Для описания резистивно-емкостных свойств нанокomпозиционных материалов на основе стannата цинка

в эквивалентной схеме можно использовать элемент постоянной фазы, являющийся обобщенным и универсальным средством для моделирования импеданса обширного класса систем и отражающий как экспоненциальное распределение параметров физико-химической реакции, связанной с преодолением энергетического барьера при переносе заряда, так и импедансное поведение, вызванное проявлением свойств фрактальности исследуемых структур в определенном диапазоне частот.

Импеданс элемента с постоянной фазой описывается формулой: $Z = \frac{1}{A(j\omega)^n}$, где A — фактор пропорциональности, n — экспоненциальный показатель, обозначающий

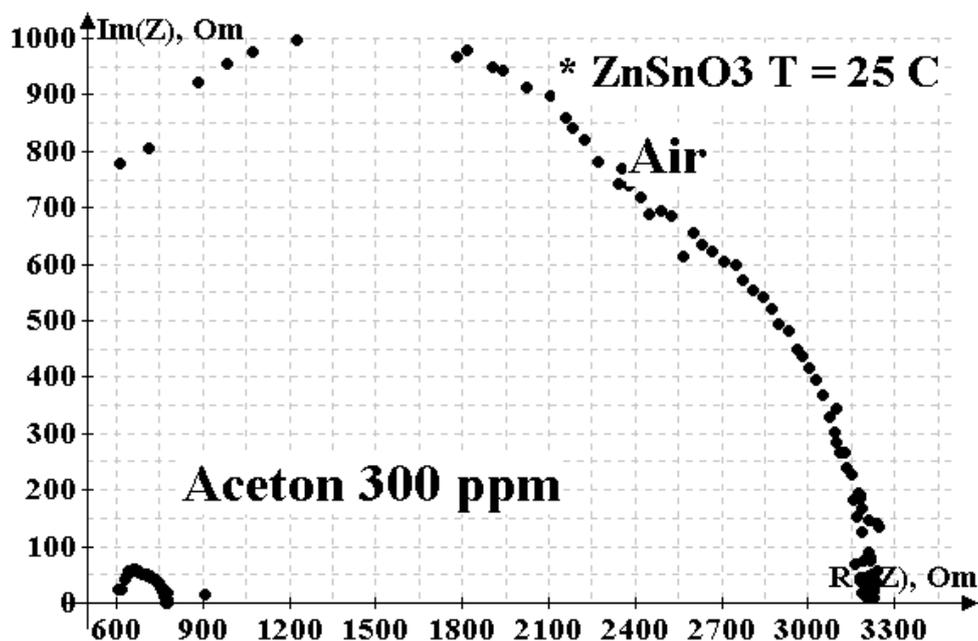


Рис. 2. Диаграмма Найквиста для образца

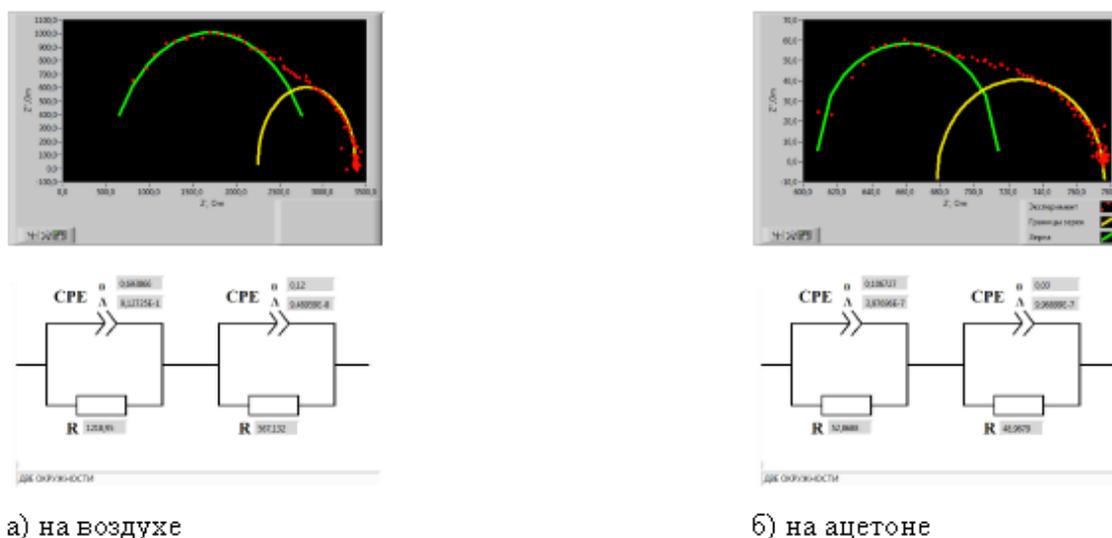


Рис. 3. Результат обработки программы

фазовое отклонение $-1 \leq n \leq 1$. Используя формулу Муавра, импеданс CPE в тригонометрической форме можно

выразить как: $Z = \frac{1}{A \cdot \omega^n} \left(\cos \frac{\pi n}{2} - j \cdot \sin \frac{\pi n}{2} \right)$. Для целых

значений $n = 1, 0, -1$ элемент CPE вырождается до классических элементов с сосредоточенными параметрами емкости C , сопротивления R и индуктивности L , соответственно. При $n = 0.5$ элемент с постоянной фазой представляет собой элемент Варбурга W , а для промежуточных значений экспоненциального показателя CPE описывает различный тип частотного распределения, аппроксимирующего поведения C , R , L и W с распределенными параметрами. На рисунке 3 приведены результаты обработки экспериментальных данных с помощью написанной программы.

Литература:

1. Роко, М. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований [Текст]/М. Роко — Мир, Москва, 2002
2. G. A. Ozin, Nanochemistry. A Chemical Approach to Nanomaterials. [Текст]/G. A. Ozin, A. C. Arsenault — RSC Publishing, London, 2005
3. Эггинс, Б. Химические и биологические сенсоры. [Текст]/Б. Эггинс — Москва: Техносфера, Москва, 2005
4. Давыдов, С. Ю., Мошников В. А., Томаев В. В. Адсорбционные явления в поликристаллических полупроводниковых сенсорах учебное пособие/Санкт-Петербург, 1998.
5. N. Docquier, Combustion control and sensors: a review [Текст]/N. Docquier, S. Candel //Prog. Energy Combust. Sci. — 2002. — Vol. — 28, P. 107–150
6. S. Ampuero. The electronic nose applied to dairy products: a review. [Текст]/S. Ampuero, J. O. Bosset. // Sens. Actuators. — 2003. — Vol. 94, P. 1–12.
7. D. Nicolas-Debarnot. Polyaniline as a new sensitive layer for gas sensors [Текст]/D. Nicolas-Debarnot, F. Poncin-Epaillard // Anal. Chim. Acta. — 2003. — Vol. 475, P. 1–15
8. A. J. Haes. A unified view of propagating and localized surface plasmon resonance biosensors. [Текст]/A. J. Haes, R. P. Van Duyne. // Anal. Bioanal. Chem., — 2004. — Vol. 379, P. 920–930.
9. B. Timmer. Ammonia sensors and their applications — a review. [Текст]/B. Timmer, W. Olthuis, A. van den Berg // Sens. Actuators B, — 2005. — Vol. 107, P. 666–677.

На данный программный продукт получено свидетельство регистрации интеллектуальной деятельности

Заключение

Спроектирован экспериментальный блок обеспечивающий автоматизированный сбор экспериментальных данных при непрерывном контроле изменения концентрации восстанавливающего газа и реализующий анализ электрофизических параметров в рамках четырехзондового метода. С использованием 3D-принтера [35] выполнены операции по изготовлению корпуса и др. деталей спроектированного блока. Написан программный продукт, в среде LabVIEW на который получено свидетельство регистрации интеллектуальной деятельности.

10. J. Riu. Nanosensors in environmental analysis. [Текст]/J. Riu, A. Maroto, F. X. Rius // *Talanta*, — 2006. — Vol. 69, P. 288–301
11. Чудинова, Г. К., Наговицын И. А., Гаджиев Т. Т., и др. Флуоресценция пленок наноразмерных композитов ZnO: SiO₂ и SnO₂: SiO₂ под действием сывроточного альбумина человека/Доклады Академии наук. 2014. Т. 456. №2. с. 174.
12. Пронин, И. А., Канева Н. В., Божинова А. С. и др. Фотокаталитическое окисление фармацевтических препаратов на тонких наноструктурированных пленках оксида цинка/Кинетика и катализ. 2014. Т. 55. №2. с. 176.
13. Karova, S. S., Moshnikov V. A., Mjakin S. V., Kolovangina E. S. Surface functional composition and sensor properties of ZnO, Fe₂O₃, and ZnFe₂O₄./Semiconductors. 2013. Т. 47. №3. с. 392–395.
14. Karova, S. S., Moshnikov V. A., Maksimov A. I. et. al. Study of the effect of the acid-base surface properties of ZnO, Fe₂O₃, and ZnFe₂O₄ oxides on their gas sensitivity to ethanol vapor./Semiconductors. 2013. Т. 47. №8. с. 1026–1030.
15. Божинова, А. С., Канева Н. В., Кононова И. Е., Налимова С. С. и др. Изучение фотокаталитических и сенсорных свойств нанокompозитных слоев ZnO/SiO₂./Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. №12. с. 1662–1666.
16. Карпова, С. С., Бобков А. А. Исследование газочувствительных оксидов металлов, полученных золь-гель методом./Молодой ученый. 2012. №9. с. 21–25.
17. Z. L. Wang. Functional oxide nanobelts: materials, properties and potential applications in nanosystems and biotechnology. [Текст]/Z. L. Wang // *Annu. Rev. Phys. Chem.*, — 2004. — Vol. 55, P. 159–196
18. Мошников, В. А., Грачева И. Е., Налимова С. С. Смешанные металлооксидные наноматериалы с отклонением от стехиометрии и перспективы их технического применения./Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. №42–2. с. 59–67.
19. Максимов, А. И., Мошников В. А., Таиров Ю. М., Шилова О. А. Основы золь-гель технологии нанокompозитов. 2-е издание. СПб.: Элмор, 2008. 225 с.
20. M. Z. Atashbar. Room temperature gas sensor based on metallic nanowires. [Текст]/M. Z. Atashbar, S. Singamaneni // *Sens. Actuators, B*, — 2005. — Vol. 111–112, P. 13–21
21. Measurement of atmospheric ammonia at a dairy using differential optical absorption spectroscopy in the midultraviolet, [Текст]/G. H. Mount, B. Rumburg, J. Havig, B. Lamb // *Atmos. Environ.* — 2002. — Vol. 36, P. 1799–1810
22. Ammonia exhaust gas sensor for automotive applications. [Текст]/R. Moos, R. Müller, C. Plog, A. Knezevic, H. Leye, E. Irion // *Sensors and Actuators B: Chemical*, — 2002. — Vol. 83, P. 181–189.
23. Selective catalytic reduction of NO_x with NH₃ over zeolite H — ZSM–5: influence of transient ammonia supply. [Текст]/M. Wallin, C.-J. Karlssona, M. Skoglundha, A. Palmqvist. // *J. Catal.*, — 2003. — Vol. 218, P. 354–364
24. Selective catalytic reduction of NO by ammonia with fly ash catalyst. [Текст]/X. Xuan, C. Yue, S. Li, Q. Yao. // *Fuel*, — 2003. — Vol. 82, 575–579
25. J. Fernandez-Seara. Amônia-water absorption refrigeration system with flooded evaporators. [Текст]/J. Fernandez-Seara, J. Sieres, M. Vazquez. // *Int. J. Refrig.* — 2006. — Vol. 26, P. 2236–2246
26. Silver oxide microwires: electrodeposition and observation of reversible resistance modulation upon exposure to ammonia vapor. [Текст]/B. J. Murray, Q. Li, J. T. Newberg, J. C'hemming, R. M. Penner // *Chem. Mater.*, — 2005. — Vol. 17, 6611–6618
27. X. Wang. Ammonia sensing characteristics of ZnO nanowires studied by quartz crystal microbalance. [Текст]/X. Wang, J. Zhang, Z. Zhu // *Appl. Surf. Sci.*, — 2006. — Vol. 252, P. 2404–2411
28. Gracheva, I. E., Moshnikov V. A., Maraeva E. V. et. al. Nanostructured materials obtained under conditions of hierarchical self-assembly and modified by derivative forms of fullerenes./Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. Т. 358. №2. с. 433–439.
29. Babayan, V., Kazantseva N. E., Moučka R. et. al. Combined effect of demagnetizing field and induced magnetic anisotropy on the magnetic properties of manganesezinc ferrite composites./Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2012. Т. 324. №2. с. 161–172.
30. Gas Sensor Array Based on Metal-Decorated Carbon Nanotubes. [Текст]/A. Star, V. Joshi, S. Skapuro, D. Thomas, J.-C. P. Gabriel // *J. Phys. Chem. B*, — 2006. — Vol. 110, P. 21014–21020
31. Gracheva, I. E., Maksimov A. I., Moshnikov V. A., Plekh M. E. A computer-aided setup for gas-sensing measurements of sensors based on semiconductor nanocomposites./Instruments and Experimental Techniques. 2008. Т. 51. №3. с. 462–465.
32. Gracheva, I. E., Moshnikov V. A., An'chkov M. G. An automated combined system for studying gas-sensitive semiconductor nanomaterials in constant and alternating electric fields./Instruments and Experimental Techniques. 2013. Т. 56. №2. с. 209–214.

33. Диагностика материалов методами сканирующей зондовой микроскопии: Учеб. пособие/Под ред. проф. В. А. Мошникова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 176 с.
34. Федорова, Е.А., Маскаева Л.Н., Марков В.Ф. Фрактальный анализ асм-изображений химически осажденных пленок Cu–Ga–Se./Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т. 10. №4. с. 547–552.
35. Матюшкин, Л. Б., Пермяков Н.В. Применение технологии 3d-печати в обеспечении профессионально ориентированной подготовки кадров в интересах nanoиндустрии./Биотехносфера. 2013. №3 (27). с. 38–47.

Программирование линейного асинхронного двигателя (Z1 = 18) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом

Емельянов Александр Александрович, доцент;
 Кобзев Антон Валерьевич, студент;
 Козлов Алексей Максимович, студент;
 Бесклеткин Виктор Викторович, студент;
 Бочкарев Юрий Павлович, студент;
 Авдеев Александр Сергеевич, студент;
 Киряков Георгий Анатольевич, студент;
 Чернов Михаил Владимирович, студент;
 Габзалилов Эльвир Фиргатович, студент

Российский государственный профессионально-педагогический университет (г. Екатеринбург)

Данная работа является модификацией статей [1] и [2]. Шунтирующие зоны принимаются такими же, как и в указанных работах. Важным отличием является использование нулевого провода в обмотке индуктора, питаемого от синусоидального трехфазного напряжения. Наличие нулевого провода позволит построить корректную математическую модель системы «АИН ШИМ — ЛАД», которую представим в одной из следующих статей. Несимметрия магнитопровода вызовет несимметрию индуктивных сопротивлений фаз обмоток индуктора и, следовательно, несимметрию токов по фазам и появлению тока в нулевом проводе. В структуре матриц произойдут существенные изменения в сравнении с [1], что будет полезным при подготовке студентов к исследовательской работе. Данная работа адресована студентам, поэтому дана без сокращений.

Запишем основные уравнения для «n»-го участка схемы замещения.

Баланс магнитных напряжений магнитной цепи

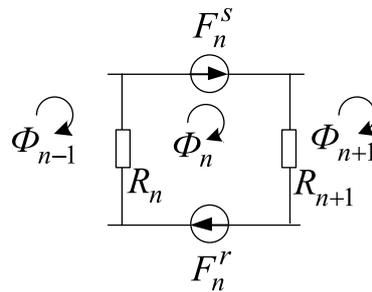


Рис. 2. Магнитная схема замещения

$\Phi_{n-1}, \Phi_n, \Phi_{n+1}$ — контурные магнитные потоки;

R_n, R_{n+1} — магнитные сопротивления воздушных участков;

$F_n^S = \omega_n^S \cdot i_n^S$ — магнитодвижущая сила, созданная статорным током i_n^S , протекающим по всем проводникам паза (ω_n^S);

$F_n^R = \omega_n^r \cdot i_n^r$ — М.Д. С. тока ротора в стержне ($\omega_n^r = 1$);

$F_n^S = 0$ — в шунтирующих зонах.

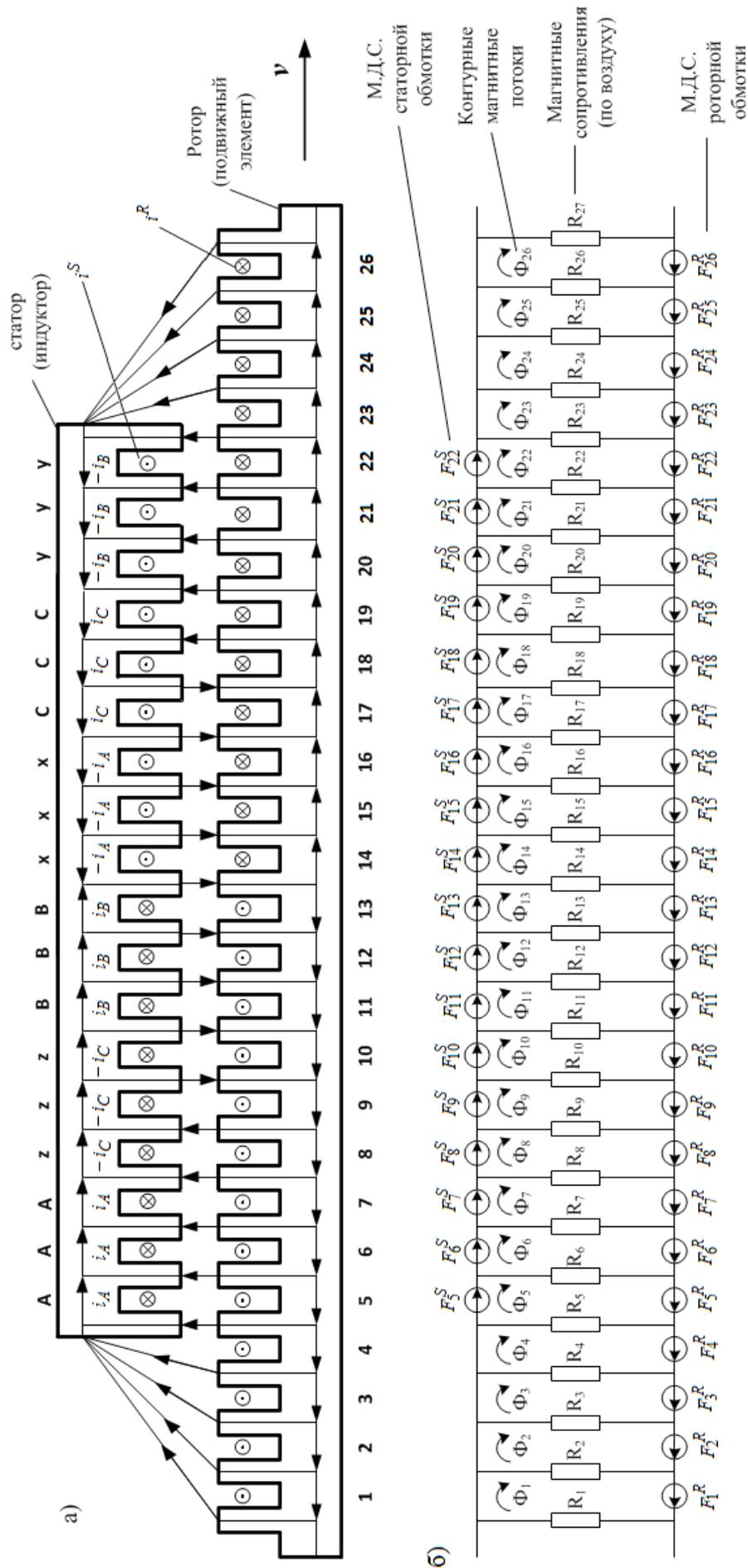


Рис. 1. а) Линейный асинхронный двигатель (2r=2, q=3); б) Магнитная схема замещения

Баланс М.Д.С. для «n»-го участка имеет следующий вид:

$$F_n^S + F_n^r = \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1} - \Phi_{n-1} \cdot R_n.$$

Отсюда ток в стержне ротора определится по следующему выражению:

$$i_n^r = -\omega_n^S \cdot i_n^S - \Phi_{n-1} \cdot R_n + \Phi_n \cdot (R_{n+1} + R_n) - \Phi_{n+1} \cdot R_{n+1}. \tag{1}$$

Уравнение баланса напряжений электрической цепи ротора

$$r^r \cdot i_n^r + L^r \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial t} + L^r \cdot v \cdot \frac{\partial i_n^r}{\partial x} = -\frac{\partial \Phi_n}{\partial t} - v \cdot \frac{\partial \Phi_n}{\partial x}. \tag{2}$$

Выразим производные во времени через конечные разности:

$$\frac{\partial i_n^r}{\partial t} = \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t}; \quad \frac{\partial \Phi_n}{\partial t} = \frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t},$$

где n — номер зубцового деления;

k — номер шага разбиения по времени.

В формуле (2) скорость подвижного элемента принимаем равным $v = v_{k-1}$ и в пределах « k » интервала считается постоянным.

Производные по пространственной координате « x » выразим через центральные конечные разности:

$$\frac{\partial i_{n,k}^r}{\partial x} = \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z}; \quad \frac{\partial \Phi_{n,k}}{\partial x} = \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_{n-1,k}}{2 \cdot t_z}.$$

С учетом вышеприведенных замечаний уравнение (2) примет следующий вид:

$$r^r \cdot i_{n,k}^r + L^r \cdot \frac{i_{n,k}^r - i_{n,k-1}^r}{\Delta t} + L^r \cdot v_{k-1} \cdot \frac{i_{n+1,k}^r - i_{n-1,k}^r}{2 \cdot t_z} = -\frac{\Phi_{n,k} - \Phi_{n,k-1}}{\Delta t} - v \cdot \frac{\Phi_{n+1,k} - \Phi_n}{2 \cdot t_z}. \tag{3}$$

Исключим из уравнения (3) токи в роторе. Для этого подставим выражение (1) в уравнение (3) и получим:

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\frac{\omega_n^S \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right]}_{-T} \cdot i_{n-1,k}^S + \underbrace{\left[-\omega_n^S \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) \right]}_Y \cdot i_{n,k}^S + \underbrace{\left[-\omega_n^S \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right]}_T \cdot i_{n+1,k}^S + \underbrace{\left[\frac{R_{n-1} \cdot L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right]}_{-(D, \dots, D_3)} \cdot \Phi_{n-2,k} + \\ & + \underbrace{\left[-R_n \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) - ((R_n + R_{n-1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right]}_{E, \dots, E_7} \cdot \Phi_{n-1,k} + \\ & + \underbrace{\left[(R_{n+1} + R_n) \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + (R_n - R_{n+1}) \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} + \frac{1}{\Delta t} \right]}_{B, \dots, B_7} \cdot \Phi_{n,k} + \\ & + \underbrace{\left[-R_{n+1} \cdot \left(r^r + \frac{L^r}{\Delta t} \right) + ((R_{n+2} + R_{n+1}) \cdot L^r + 1) \cdot \frac{v_{k-1}}{2t_z} \right]}_{C, \dots, C_7} \cdot \Phi_{n+1,k} + \underbrace{\left[-R_{n+2} \cdot \frac{L^r \cdot v_{k-1}}{2t_z} \right]}_{D, \dots, D_3} \cdot \Phi_{n+2,k} = \\ & = \underbrace{\left(-\omega_n^S \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right)}_{W1} \cdot i_{n,k-1}^S + \underbrace{\left(-R_n \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right)}_P \cdot \Phi_{n-1,k-1} + \underbrace{\left(\frac{(R_{n+1} + R_n) \cdot L^r + 1}{\Delta t} \right)}_{Q, Q_2, \dots, Q_4} \cdot \Phi_{n,k-1} + \underbrace{\left(-R_{n+1} \cdot \frac{L^r}{\Delta t} \right)}_P \cdot \Phi_{n+1,k-1}. \tag{4} \end{aligned}$$

Это уравнение может быть реализовано при произведении матрицы **A**, элементы которой записаны в квадратных скобках, на матрицу-столбец **X**, состоящей из потоков (Φ) и токов статорной обмотки. Правая часть уравнения (4) формирует первые двадцать шесть элементов матрицы-столбца свободных членов **S** в ($k-1$) момент времени. Элементы 27, 28 и 29 строк матрицы **A** и соответствующие элементы s_{27} , s_{28} и s_{29} будут сформированы из баланса напряжений статорной обмотки.

Матрица А

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	$a_{1,1}$																														
2	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$																													
3	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$																											
4	$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$																										
5	$a_{4,2}$	$a_{4,3}$	$a_{4,4}$	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$	$a_{5,3}$	$a_{5,4}$	$a_{5,5}$	$a_{5,6}$	$a_{5,7}$																					
6	$a_{6,4}$	$a_{6,5}$	$a_{6,6}$	$a_{6,7}$	$a_{6,8}$	$a_{7,5}$	$a_{7,6}$	$a_{7,7}$	$a_{7,8}$	$a_{7,9}$																					
7	$a_{8,6}$	$a_{8,7}$	$a_{8,8}$	$a_{8,9}$	$a_{8,10}$	$a_{9,7}$	$a_{9,8}$	$a_{9,9}$	$a_{9,10}$	$a_{9,11}$																					
8	$a_{10,8}$	$a_{10,9}$	$a_{10,10}$	$a_{10,11}$	$a_{10,12}$	$a_{11,9}$	$a_{11,10}$	$a_{11,11}$	$a_{11,12}$	$a_{11,13}$																					
9	$a_{12,10}$	$a_{12,11}$	$a_{12,12}$	$a_{12,13}$	$a_{12,14}$	$a_{13,11}$	$a_{13,12}$	$a_{13,13}$	$a_{13,14}$	$a_{13,15}$																					
10	$a_{14,12}$	$a_{14,13}$	$a_{14,14}$	$a_{14,15}$	$a_{14,16}$	$a_{15,13}$	$a_{15,14}$	$a_{15,15}$	$a_{15,16}$	$a_{15,17}$																					
11	$a_{16,14}$	$a_{16,15}$	$a_{16,16}$	$a_{16,17}$	$a_{16,18}$	$a_{17,15}$	$a_{17,16}$	$a_{17,17}$	$a_{17,18}$	$a_{17,19}$																					
12	$a_{18,16}$	$a_{18,17}$	$a_{18,18}$	$a_{18,19}$	$a_{18,20}$	$a_{19,17}$	$a_{19,18}$	$a_{19,19}$	$a_{19,20}$	$a_{19,21}$																					
13	$a_{20,18}$	$a_{20,19}$	$a_{20,20}$	$a_{20,21}$	$a_{20,22}$	$a_{21,19}$	$a_{21,20}$	$a_{21,21}$	$a_{21,22}$	$a_{21,23}$																					
14	$a_{22,20}$	$a_{22,21}$	$a_{22,22}$	$a_{22,23}$	$a_{22,24}$	$a_{23,21}$	$a_{23,22}$	$a_{23,23}$	$a_{23,24}$	$a_{23,25}$																					
15	$a_{24,22}$	$a_{24,23}$	$a_{24,24}$	$a_{24,25}$	$a_{24,26}$	$a_{25,23}$	$a_{25,24}$	$a_{25,25}$	$a_{25,26}$	$a_{26,24}$	$a_{26,25}$	$a_{26,26}$																			
16	$a_{27,14}$	$a_{27,15}$	$a_{27,16}$																												
17	$a_{28,11}$	$a_{28,12}$	$a_{28,13}$																												
18	$a_{29,8}$	$a_{29,9}$	$a_{29,10}$																												
19	$a_{27,5}$	$a_{27,6}$	$a_{27,7}$																												
20																															
21																															
22																															
23																															
24																															
25																															
26																															
27																															
28																															
29																															
30																															

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	$x_1 = \Phi_1$																														
2	$x_2 = \Phi_2$																														
3	$x_3 = \Phi_3$																														
4	$x_4 = \Phi_4$																														
5	$x_5 = \Phi_5$																														
6	$x_6 = \Phi_6$																														
7	$x_7 = \Phi_7$																														
8	$x_8 = \Phi_8$																														
9	$x_9 = \Phi_9$																														
10	$x_{10} = \Phi_{10}$																														
11	$x_{11} = \Phi_{11}$																														
12	$x_{12} = \Phi_{12}$																														
13	$x_{13} = \Phi_{13}$																														
14	$x_{14} = \Phi_{14}$																														
15	$x_{15} = \Phi_{15}$																														
16	$x_{16} = \Phi_{16}$																														
17	$x_{17} = \Phi_{17}$																														
18	$x_{18} = \Phi_{18}$																														
19	$x_{19} = \Phi_{19}$																														
20	$x_{20} = \Phi_{20}$																														
21	$x_{21} = \Phi_{21}$																														
22	$x_{22} = \Phi_{22}$																														
23	$x_{23} = \Phi_{23}$																														
24	$x_{24} = \Phi_{24}$																														
25	$x_{25} = \Phi_{25}$																														
26	$x_{26} = \Phi_{26}$																														
27	$x_{27} = i_A$																														
28	$x_{28} = i_C$																														
29	$x_{29} = i_B$																														
30	$x_{30} = i_0$																														

Рис. 3. Общий вид матриц А, Х и S

Наконец, последние элементы матриц **A** и **S** определяются из баланса токов в трехфазной обмотке соединенной в звезду с нулевым проводом. Матрица-столбец **X** сформирована из первых двадцати шести элементов, соответствующих потокам Φ_1, \dots, Φ_{26} , а остальные – токам статорной обмотки i_A^s, i_C^s, i_B^s и i_0^s .

Общий вид матриц при числе полюсов $2p = 2$ и общем числе пазов индуктора (статора) $Z_1 = 18$ приведен на рис.3. Введем следующие обозначения:

– Магнитные сопротивления в шунтирующих зонах:

$$R_1 = R_2 = R_{26} = R_{27} = 500 \cdot R_\delta;$$

$$R_3 = R_{25} = 50 \cdot R_\delta;$$

$$R_4 = R_{24} = 5 \cdot R_\delta.$$

– Магнитные сопротивления в индукторной зоне:

$$R_5 = R_6 = \dots = R_{23} = R_\delta.$$

– Элементы матрицы **A**, перемножаемые на потоки матрицы-столбца **X** (рис.3).

$$B = 2R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + 1/\Delta t;$$

$$B_1 = (5R_\delta + R_\delta) \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (R_\delta - 5R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t = \\ = 6R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (-4R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t;$$

$$B_2 = 55R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (-45R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t;$$

$$B_3 = 550R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (-450R_\delta) \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t;$$

$$B_4 = 1000R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + 1/\Delta t;$$

$$B_5 = 550R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + 450R_\delta \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t;$$

$$B_6 = 55R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + 45R_\delta \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t;$$

$$B_7 = 6R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + 4R_\delta \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z + 1/\Delta t;$$

$$C = -R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (2R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_1 = -R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_2 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_3 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_4 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (1000R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_5 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_6 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$C_7 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) + (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E = -R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (2R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_1 = -5R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (6R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_2 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_3 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (550R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_4 = -500R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (1000R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_5 = -50R_\delta \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (55R_\delta \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_6 = -5R_6 \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (55R_6 \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$E_7 = -R_6 \cdot (r^r + L^r/\Delta t) - (6R_6 \cdot L^r + 1) \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$D = -R_6 \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z; \quad D_1 = 5 \cdot D; \quad D_2 = 50 \cdot D; \quad D_3 = 500 \cdot D.$$

– Элементы матрицы **A**, перемножаемые на токи матрицы **X**:

$$T = -\omega_n^s \cdot L^r \cdot v_{k-1}/2t_z;$$

$$Y = -\omega_n^s \cdot (r^r + L^r/\Delta t);$$

$$M = Y + T;$$

$$N = Y - T.$$

– Элементы матрицы-столбца свободных членов **S**:

$$W1 = -\omega_n^s \cdot L^r/\Delta t;$$

$$P = -R_6 \cdot L^r/\Delta t;$$

$$Q = (2R_6 \cdot L^r + 1)/\Delta t;$$

$$Q_1 = \frac{6R_6 \cdot L^r + 1}{\Delta t}; \quad Q_2 = \frac{55 \cdot R_6 \cdot L^r + 1}{\Delta t}; \quad Q_3 = \frac{550 \cdot R_6 \cdot L^r + 1}{\Delta t}; \quad Q_4 = \frac{1000 \cdot R_6 \cdot L^r + 1}{\Delta t}.$$

Уравнение (4) позволит определить для первых двадцати шести строк элементы матрицы **A** и с первый по двадцать шестой элементы матрицы-столбца **S**, для этого последовательно зададимся n :

$$n = 1.$$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} B_4 \\ a_{1,1} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \left[\begin{matrix} C_5 \\ a_{1,2} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \left[\begin{matrix} D_2 \\ a_{1,3} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3}}_{S_1} = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{1,k-1} + P \cdot 500 \cdot \Phi_{2,k-1}}_{S_1}.$$

Запишем элементы матрицы **A**:

$$a_{1,1} = B_4; \quad a_{1,2} = C_5; \quad a_{1,3} = D_2.$$

В правой части сформирован элемент S_1 матрицы-столбца **S**:

$$S_1 = Q_4 \cdot x_{1,k-1} + P \cdot 500 \cdot x_{2,k-1}.$$

Примечание: вначале матрица **A** предстанет «пустой» и после каждой операции $n = \dots$ определятся постепенно элементы для каждой строки и только в конце всех операций матрица **A** предстанет перед читателем в том виде как она дана на рис. 3. Но эта «пустая» матрица **A** уже должна быть подготовлена. Эта «пустая» форма направляет, выступает «организующим началом» по поиску элементов в каждой строке.

При $n = 1$, как было показано выше, определились элементы первой строки. Найденные коэффициенты вписываем в матрицу **A**. В дальнейшем становится понятным алгоритм заполнения матрицы.

$$n = 2.$$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} E_4 \\ a_{2,1} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \left[\begin{matrix} B_5 \\ a_{2,2} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \left[\begin{matrix} C_6 \\ a_{2,3} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \left[\begin{matrix} D_1 \\ a_{2,4} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4}}_{S_2} = \underbrace{Q_3 \cdot \Phi_{2,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{1,k-1} + 50 \cdot \Phi_{3,k-1})}_{S_2} \cdot a_{2,1} = E_4;$$

$$a_{2,2} = B_5; \quad a_{2,3} = C_6; \quad a_{2,4} = D_1.$$

$$S_2 = Q_3 \cdot x_{2,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{1,k-1} + 50 \cdot x_{3,k-1}).$$

$$n = 3.$$

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} -D_3 \\ a_{3,1} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{1,k}}_{x_1} + \left[\begin{matrix} E_5 \\ a_{3,2} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \left[\begin{matrix} B_6 \\ a_{3,3} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \left[\begin{matrix} C_7 \\ a_{3,4} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \left[\begin{matrix} D \\ a_{3,5} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5}}_{S_3} = \underbrace{Q_2 \cdot \Phi_{3,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{2,k-1} + 5 \cdot \Phi_{4,k-1})}_{S_3}.$$

$$a_{3,1} = -D_3; \quad a_{3,2} = E_5; \quad a_{3,3} = B_6; \quad a_{3,4} = C_7; \quad a_{3,5} = D.$$

$$s_3 = Q_2 \cdot x_{3,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{2,k-1} + 5 \cdot x_{4,k-1}).$$

$n = 4.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[T]}_{a_{4,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D_2]}_{a_{4,2}} \cdot \underbrace{\Phi_{2,k}}_{x_2} + \underbrace{[E_6]}_{a_{4,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[B_7]}_{a_{4,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[C]}_{a_{4,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[D]}_{a_{4,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} = \\ & = \underbrace{Q_1 \cdot \Phi_{4,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{3,k-1} + \Phi_{5,k-1})}_{s_4}. \end{aligned}$$

$$a_{4,2} = -D_2; \quad a_{4,3} = E_6; \quad a_{4,4} = B_7; \quad a_{4,5} = C; \quad a_{4,6} = D; \quad a_{4,27} = T.$$

$$s_4 = Q_1 \cdot x_{4,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{3,k-1} + x_{5,k-1}).$$

$n = 5.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[M]}_{a_{5,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D_1]}_{a_{5,3}} \cdot \underbrace{\Phi_{3,k}}_{x_3} + \underbrace{[E_7]}_{a_{5,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[B]}_{a_{5,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[C]}_{a_{5,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[D]}_{a_{5,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{5,k-1} + P \cdot (\Phi_{4,k-1} + \Phi_{6,k-1})}_{s_5}. \end{aligned}$$

$$a_{5,3} = -D_1; \quad a_{5,4} = E_7; \quad a_{5,5} = B; \quad a_{5,6} = C; \quad a_{5,7} = D; \quad a_{5,27} = Y + T = M.$$

$$s_5 = W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{5,k-1} + P \cdot (x_{4,k-1} + x_{6,k-1}).$$

$n = 6.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[Y]}_{a_{6,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D]}_{a_{6,4}} \cdot \underbrace{\Phi_{4,k}}_{x_4} + \underbrace{[E]}_{a_{6,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[B]}_{a_{6,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[C]}_{a_{6,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[D]}_{a_{6,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{6,k-1} + P \cdot (\Phi_{5,k-1} + \Phi_{7,k-1})}_{s_6}. \end{aligned}$$

$$a_{6,4} = -D; \quad a_{6,5} = E; \quad a_{6,6} = B; \quad a_{6,7} = C; \quad a_{6,8} = D; \quad a_{6,27} = -T + Y + T = Y.$$

$$s_6 = W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{6,k-1} + P \cdot (x_{5,k-1} + x_{7,k-1}).$$

Примечание: при подстановке в уравнение (4) $n = 7$, мы увидим в соответствии с рис. 1, что войдет ток i_C^S отрицательным знаком, в то же время в матрице-столбце **X** нет знака «-», поэтому его необходимо учесть в соответствующем элементе матрицы **A**.

Аналогично для других фаз, в концах обмоток x, y, z условно принимаем знак «-» и этот знак вводим в соответствующие элементы матрицы **A**.

$n = 7.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[N]}_{a_{7,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-T]}_{a_{7,28}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} + \underbrace{[-D]}_{a_{7,5}} \cdot \underbrace{\Phi_{5,k}}_{x_5} + \underbrace{[E]}_{a_{7,6}} \cdot \underbrace{\Phi_{6,k}}_{x_6} + \underbrace{[B]}_{a_{7,7}} \cdot \underbrace{\Phi_{7,k}}_{x_7} + \underbrace{[C]}_{a_{7,8}} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{[D]}_{a_{7,9}} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{7,k-1} + P \cdot (\Phi_{6,k-1} + \Phi_{8,k-1})}_{s_7}. \end{aligned}$$

$$a_{7,5} = -D; \quad a_{7,6} = E; \quad a_{7,7} = B; \quad a_{7,8} = C; \quad a_{7,9} = D; \quad a_{7,27} = Y - T = N;$$

$$a_{7,28} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_7 = W1 \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{7,k-1} + P \cdot (x_{6,k-1} + x_{8,k-1}).$$

$n = 8.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T] \cdot i_{A,k}^s}_{a_{8,27} x_{27}} + \underbrace{[-M] \cdot i_{C,k}^s}_{a_{8,28} x_{28}} + \underbrace{[-D] \cdot \Phi_{6,k}}_{a_{8,6} x_6} + \underbrace{[E] \cdot \Phi_{7,k}}_{a_{8,7} x_7} + \underbrace{[B] \cdot \Phi_{8,k}}_{a_{8,8} x_8} + \underbrace{[C] \cdot \Phi_{9,k}}_{a_{8,9} x_9} + \underbrace{[D] \cdot \Phi_{10,k}}_{a_{8,10} x_{10}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot (-1) \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{8,k-1} + P \cdot (\Phi_{7,k-1} + \Phi_{9,k-1})}_{S_8}. \end{aligned}$$

$$a_{8,6} = -D; a_{8,7} = E; a_{8,8} = B; a_{8,9} = C; a_{8,10} = D; a_{8,27} = -T;$$

$$a_{8,28} = (Y + T) \cdot (-1) = -M.$$

$$S_8 = W1 \cdot (-1) \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{8,k-1} + P \cdot (x_{7,k-1} + x_{9,k-1}).$$

$n = 9.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-Y] \cdot i_{C,k}^s}_{a_{9,28} x_{28}} + \underbrace{[-D] \cdot \Phi_{7,k}}_{a_{9,7} x_7} + \underbrace{[E] \cdot \Phi_{8,k}}_{a_{9,8} x_8} + \underbrace{[B] \cdot \Phi_{9,k}}_{a_{9,9} x_9} + \underbrace{[C] \cdot \Phi_{10,k}}_{a_{9,10} x_{10}} + \underbrace{[D] \cdot \Phi_{11,k}}_{a_{9,11} x_{11}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot (-1) \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{9,k-1} + P \cdot (\Phi_{8,k-1} + \Phi_{10,k-1})}_{S_9}. \end{aligned}$$

$$a_{9,7} = -D; a_{9,8} = E; a_{9,9} = B; a_{9,10} = C; a_{9,11} = D; a_{9,28} = (-T + Y + T) \cdot (-1) = -Y.$$

$$S_9 = W1 \cdot (-1) \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{9,k-1} + P \cdot (x_{8,k-1} + x_{10,k-1}).$$

$n = 10.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-N] \cdot i_{C,k}^s}_{a_{10,28} x_{28}} + \underbrace{[T] \cdot i_{B,k}^s}_{a_{10,29} x_{29}} + \underbrace{[-D] \cdot \Phi_{8,k}}_{a_{10,8} x_8} + \underbrace{[E] \cdot \Phi_{9,k}}_{a_{10,9} x_9} + \underbrace{[B] \cdot \Phi_{10,k}}_{a_{10,10} x_{10}} + \underbrace{[C] \cdot \Phi_{11,k}}_{a_{10,11} x_{11}} + \underbrace{[D] \cdot \Phi_{12,k}}_{a_{10,12} x_{12}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot (-1) \cdot i_{C,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{10,k-1} + P \cdot (\Phi_{9,k-1} + \Phi_{11,k-1})}_{S_{10}}. \end{aligned}$$

$$a_{10,8} = -D; a_{10,9} = E; a_{10,10} = B; a_{10,11} = C; a_{10,12} = D; a_{10,28} = (-T + Y) \cdot (-1) = -N;$$

$$a_{10,29} = T.$$

$$S_{10} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{10,k-1} + P \cdot (x_{9,k-1} + x_{11,k-1}).$$

$n = 11.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[T] \cdot i_{C,k}^s}_{a_{11,28} x_{28}} + \underbrace{[M] \cdot i_{B,k}^s}_{a_{11,29} x_{29}} + \underbrace{[-D] \cdot \Phi_{9,k}}_{a_{11,9} x_9} + \underbrace{[E] \cdot \Phi_{10,k}}_{a_{11,10} x_{10}} + \underbrace{[B] \cdot \Phi_{11,k}}_{a_{11,11} x_{11}} + \underbrace{[C] \cdot \Phi_{12,k}}_{a_{11,12} x_{12}} + \underbrace{[D] \cdot \Phi_{13,k}}_{a_{11,13} x_{13}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{11,k-1} + P \cdot (\Phi_{10,k-1} + \Phi_{12,k-1})}_{S_{11}}. \end{aligned}$$

$$a_{11,9} = -D; a_{11,10} = E; a_{11,11} = B; a_{11,12} = C; a_{11,13} = D; a_{11,28} = -T \cdot (-1) = T;$$

$$a_{11,29} = Y + T = M.$$

$$S_{11} = W1 \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{11,k-1} + P \cdot (x_{10,k-1} + x_{12,k-1}).$$

$n = 12.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[Y] \cdot i_{B,k}^s}_{a_{12,29} x_{29}} + \underbrace{[-D] \cdot \Phi_{10,k}}_{a_{12,10} x_{10}} + \underbrace{[E] \cdot \Phi_{11,k}}_{a_{12,11} x_{11}} + \underbrace{[B] \cdot \Phi_{12,k}}_{a_{12,12} x_{12}} + \underbrace{[C] \cdot \Phi_{13,k}}_{a_{12,13} x_{13}} + \underbrace{[D] \cdot \Phi_{14,k}}_{a_{12,14} x_{14}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{12,k-1} + P \cdot (\Phi_{11,k-1} + \Phi_{13,k-1})}_{S_{12}}. \end{aligned}$$

$$a_{12,10} = -D; a_{12,11} = E; a_{12,12} = B; a_{12,13} = C; a_{12,14} = D; a_{12,29} = -T + Y + T = Y.$$

$$s_{12} = W1 \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{12,k-1} + P \cdot (x_{11,k-1} + x_{13,k-1}).$$

$n = 13.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[N]}_{a_{13,29}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[-T]}_{a_{13,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D]}_{a_{13,11}} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{[E]}_{a_{13,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[B]}_{a_{13,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[C]}_{a_{13,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[D]}_{a_{13,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{13,k-1} + P \cdot (\Phi_{12,k-1} + \Phi_{14,k-1})}_{S_{13}}. \end{aligned}$$

$$a_{13,11} = -D; a_{13,12} = E; a_{13,13} = B; a_{13,14} = C; a_{13,15} = D; a_{13,29} = -T + Y = N;$$

$$a_{13,27} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$s_{13} = W1 \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{13,k-1} + P \cdot (x_{12,k-1} + x_{14,k-1}).$$

$n = 14.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-T]}_{a_{14,29}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[-M]}_{a_{14,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D]}_{a_{14,12}} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{[E]}_{a_{14,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[B]}_{a_{14,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[C]}_{a_{14,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[D]}_{a_{14,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot (-1) \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{14,k-1} + P \cdot (\Phi_{13,k-1} + \Phi_{15,k-1})}_{S_{14}}. \end{aligned}$$

$$a_{14,12} = -D; a_{14,13} = E; a_{14,14} = B; a_{14,15} = C; a_{14,16} = D; a_{14,29} = -T;$$

$$a_{14,27} = (Y + T) \cdot (-1) = -M.$$

$$s_{14} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{14,k-1} + P \cdot (x_{13,k-1} + x_{15,k-1}).$$

$n = 15.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-Y]}_{a_{15,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[-D]}_{a_{15,13}} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{[E]}_{a_{15,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[B]}_{a_{15,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[C]}_{a_{15,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \underbrace{[D]}_{a_{15,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot (-1) \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{15,k-1} + P \cdot (\Phi_{14,k-1} + \Phi_{16,k-1})}_{S_{15}}. \end{aligned}$$

$$a_{15,13} = -D; a_{15,14} = E; a_{15,15} = B; a_{15,16} = C; a_{15,17} = D; a_{15,27} = (-T + Y + T) \cdot (-1) = -Y.$$

$$s_{15} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{15,k-1} + P \cdot (x_{14,k-1} + x_{16,k-1}).$$

$n = 16.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[-N]}_{a_{16,27}} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{[T]}_{a_{16,28}} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} + \underbrace{[-D]}_{a_{16,14}} \cdot \underbrace{\Phi_{14,k}}_{x_{14}} + \underbrace{[E]}_{a_{16,15}} \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \underbrace{[B]}_{a_{16,16}} \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \underbrace{[C]}_{a_{16,17}} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \underbrace{[D]}_{a_{16,18}} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} = \\ & = \underbrace{W1 \cdot (-1) \cdot i_{A,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{16,k-1} + P \cdot (\Phi_{15,k-1} + \Phi_{17,k-1})}_{S_{16}}. \end{aligned}$$

$$a_{16,14} = -D; a_{16,15} = E; a_{16,16} = B; a_{16,17} = C; a_{16,18} = D; a_{16,27} = (-T + Y) \cdot (-1) = -N;$$

$$a_{16,28} = T.$$

$$s_{16} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{27,k-1} + Q \cdot x_{16,k-1} + P \cdot (x_{15,k-1} + x_{17,k-1}).$$

$n = 17.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} T \\ a_{17,27} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \left[\begin{matrix} M \\ a_{17,28} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} + \left[\begin{matrix} -D \\ a_{17,15} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{15,k}}_{x_{15}} + \left[\begin{matrix} E \\ a_{17,16} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \left[\begin{matrix} B \\ a_{17,17} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \left[\begin{matrix} C \\ a_{17,18} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \left[\begin{matrix} D \\ a_{17,19} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}}}_{S_{17}} = \\ & = W1 \cdot \underbrace{i_{C,k-1}^s}_{S_{17}} + Q \cdot \Phi_{17,k-1} + P \cdot (\Phi_{16,k-1} + \Phi_{18,k-1}). \end{aligned}$$

$$a_{17,15} = -D; \quad a_{17,16} = E; \quad a_{17,17} = B; \quad a_{17,18} = C; \quad a_{17,19} = D; \quad a_{17,27} = -T \cdot (-1) = T;$$

$$a_{17,28} = Y + T = M.$$

$$S_{17} = W1 \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{17,k-1} + P \cdot (x_{16,k-1} + x_{18,k-1}).$$

$n = 18.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} Y \\ a_{18,28} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} + \left[\begin{matrix} -D \\ a_{18,16} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{16,k}}_{x_{16}} + \left[\begin{matrix} E \\ a_{18,17} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \left[\begin{matrix} B \\ a_{18,18} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \left[\begin{matrix} C \\ a_{18,19} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \left[\begin{matrix} D \\ a_{18,20} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}}}_{S_{18}} = \\ & = W1 \cdot \underbrace{i_{C,k-1}^s}_{S_{18}} + Q \cdot \Phi_{18,k-1} + P \cdot (\Phi_{17,k-1} + \Phi_{19,k-1}). \end{aligned}$$

$$a_{18,16} = -D; \quad a_{18,17} = E; \quad a_{18,18} = B; \quad a_{18,19} = C; \quad a_{18,20} = D; \quad a_{18,28} = -T + Y + T = Y.$$

$$S_{18} = W1 \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{18,k-1} + P \cdot (x_{17,k-1} + x_{19,k-1}).$$

$n = 19.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} N \\ a_{19,28} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} + \left[\begin{matrix} -T \\ a_{19,29} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \left[\begin{matrix} -D \\ a_{19,17} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \left[\begin{matrix} E \\ a_{19,18} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \left[\begin{matrix} B \\ a_{19,19} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \left[\begin{matrix} C \\ a_{19,20} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \left[\begin{matrix} D \\ a_{19,21} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}}}_{S_{19}} = \\ & = W1 \cdot \underbrace{i_{C,k-1}^s}_{S_{19}} + Q \cdot \Phi_{19,k-1} + P \cdot (\Phi_{18,k-1} + \Phi_{20,k-1}). \end{aligned}$$

$$a_{19,17} = -D; \quad a_{19,18} = E; \quad a_{19,19} = B; \quad a_{19,20} = C; \quad a_{19,21} = D; \quad a_{19,28} = -T + Y = N;$$

$$a_{19,29} = T \cdot (-1) = -T.$$

$$S_{19} = W1 \cdot x_{28,k-1} + Q \cdot x_{19,k-1} + P \cdot (x_{18,k-1} + x_{20,k-1}).$$

$n = 20.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} -T \\ a_{20,28} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} + \left[\begin{matrix} -M \\ a_{20,29} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \left[\begin{matrix} -D \\ a_{20,18} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \left[\begin{matrix} E \\ a_{20,19} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \left[\begin{matrix} B \\ a_{20,20} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \left[\begin{matrix} C \\ a_{20,21} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \left[\begin{matrix} D \\ a_{20,22} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}}}_{S_{20}} = \\ & = W1 \cdot \underbrace{(-1) \cdot i_{B,k-1}^s}_{S_{20}} + Q \cdot \Phi_{20,k-1} + P \cdot (\Phi_{19,k-1} + \Phi_{21,k-1}). \end{aligned}$$

$$a_{20,18} = -D; \quad a_{20,19} = E; \quad a_{20,20} = B; \quad a_{20,21} = C; \quad a_{20,22} = D; \quad a_{20,28} = -T;$$

$$a_{20,29} = (Y + T) \cdot (-1) = -M.$$

$$S_{20} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{20,k-1} + P \cdot (x_{19,k-1} + x_{21,k-1}).$$

$n = 21.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} -Y \\ a_{21,29} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \left[\begin{matrix} -D \\ a_{21,19} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \left[\begin{matrix} E \\ a_{21,20} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \left[\begin{matrix} B \\ a_{21,21} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \left[\begin{matrix} C \\ a_{21,22} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \left[\begin{matrix} D \\ a_{21,23} \end{matrix} \right] \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}}}_{S_{21}} = \\ & = W1 \cdot \underbrace{(-1) \cdot i_{B,k-1}^s}_{S_{21}} + Q \cdot \Phi_{21,k-1} + P \cdot (\Phi_{20,k-1} + \Phi_{22,k-1}). \end{aligned}$$

$$a_{21,19} = -D; \quad a_{21,20} = E; \quad a_{21,21} = B; \quad a_{21,22} = C; \quad a_{21,23} = D; \quad a_{21,29} = (-T + Y + T) \cdot (-1) = -Y.$$

$$s_{21} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{21,k-1} + P \cdot (x_{20,k-1} + x_{22,k-1}).$$

$n = 22.$

$$\underbrace{[-N]}_{a_{22,29}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[-D]}_{a_{22,20}} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \underbrace{[E]}_{a_{22,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{[B]}_{a_{22,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[C_1]}_{a_{22,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[D_1]}_{a_{22,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} =$$

$$= W1 \cdot (-1) \cdot i_{B,k-1}^s + Q \cdot \Phi_{22,k-1} + P \cdot (\Phi_{21,k-1} + \Phi_{23,k-1}).$$

$$s_{22}$$

$$a_{22,20} = -D; \quad a_{22,21} = E; \quad a_{22,22} = B; \quad a_{22,23} = C_1; \quad a_{22,24} = D_1; \quad a_{22,29} = (-T + Y) \cdot (-1) = -N.$$

$$s_{22} = W1 \cdot (-1) \cdot x_{29,k-1} + Q \cdot x_{22,k-1} + P \cdot (x_{21,k-1} + x_{23,k-1}).$$

$n = 23.$

$$\underbrace{[T]}_{a_{23,29}} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{[-D]}_{a_{23,21}} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{[E]}_{a_{23,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[B_1]}_{a_{23,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[C_2]}_{a_{23,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[D_2]}_{a_{23,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} =$$

$$= Q_1 \cdot \Phi_{23,k-1} + P \cdot (5 \cdot \Phi_{24,k-1} + \Phi_{22,k-1}).$$

$$s_{23}$$

$$a_{23,21} = -D; \quad a_{23,22} = E; \quad a_{23,23} = B_1; \quad a_{23,24} = C_2; \quad a_{23,25} = D_2; \quad a_{23,29} = -T \cdot (-1) = T.$$

$$s_{23} = Q_1 \cdot x_{23,k-1} + P \cdot (5 \cdot x_{24,k-1} + x_{22,k-1}).$$

$n = 24.$

$$\underbrace{[-D]}_{a_{24,22}} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{[E_1]}_{a_{24,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[B_2]}_{a_{24,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[C_3]}_{a_{24,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} + \underbrace{[D_3]}_{a_{24,26}} \cdot \underbrace{\Phi_{26,k}}_{x_{26}} =$$

$$= Q_2 \cdot \Phi_{24,k-1} + P \cdot (50 \cdot \Phi_{25,k-1} + 5 \cdot \Phi_{23,k-1}).$$

$$s_{24}$$

$$a_{24,22} = -D; \quad a_{24,23} = E_1; \quad a_{24,24} = B_2; \quad a_{24,25} = C_3; \quad a_{24,26} = D_3.$$

$$s_{24} = Q_2 \cdot x_{24,k-1} + P \cdot (50 \cdot x_{25,k-1} + 5 \cdot x_{23,k-1}).$$

$n = 25.$

$$\underbrace{[-D_1]}_{a_{25,23}} \cdot \underbrace{\Phi_{23,k}}_{x_{23}} + \underbrace{[E_2]}_{a_{25,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[B_3]}_{a_{25,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} + \underbrace{[C_4]}_{a_{25,26}} \cdot \underbrace{\Phi_{26,k}}_{x_{26}} =$$

$$= Q_3 \cdot \Phi_{25,k-1} + P \cdot (500 \cdot \Phi_{26,k-1} + 50 \cdot \Phi_{24,k-1}).$$

$$s_{25}$$

$$a_{25,23} = -D_1; \quad a_{25,24} = E_2; \quad a_{25,25} = B_3; \quad a_{25,26} = C_4.$$

$$s_{25} = Q_3 \cdot x_{25,k-1} + P \cdot (500 \cdot x_{26,k-1} + 50 \cdot x_{24,k-1}).$$

$n = 26.$

$$\underbrace{[-D_2]}_{a_{26,24}} \cdot \underbrace{\Phi_{24,k}}_{x_{24}} + \underbrace{[E_3]}_{a_{26,25}} \cdot \underbrace{\Phi_{25,k}}_{x_{25}} + \underbrace{[B_4]}_{a_{26,26}} \cdot \underbrace{\Phi_{26,k}}_{x_{26}} = \underbrace{Q_4 \cdot \Phi_{26,k-1} + P \cdot 500 \cdot \Phi_{25,k-1}}_{s_{26}}.$$

$$a_{26,24} = -D_2; \quad a_{26,25} = E_3; \quad a_{26,26} = B_4.$$

$$s_{26} = Q_4 \cdot x_{26,k-1} + P \cdot 500 \cdot x_{25,k-1}.$$

Элементы строк 27, 28 и 29 матрицы **A** и соответствующие элементы матрицы-столбца **S** определяются из *баланса электрических напряжений обмоток статора*.

$$\begin{cases} U_A = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_5 + \Phi_6 + \Phi_7 - \Phi_{14} - \Phi_{15} - \Phi_{16}) + r^s \cdot i_A^s + L_A^s \cdot \frac{di_A^s}{dt}; \\ U_B = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_{11} + \Phi_{12} + \Phi_{13} - \Phi_{20} - \Phi_{21} - \Phi_{22}) + r^s \cdot i_B^s + L_B^s \cdot \frac{di_B^s}{dt}; \\ U_C = \omega_n^s \cdot \frac{d}{dt} \cdot (\Phi_8 + \Phi_9 + \Phi_{10} - \Phi_{17} - \Phi_{18} - \Phi_{19}) + r^s \cdot i_C^s + L_C^s \cdot \frac{di_C^s}{dt}, \end{cases} \quad (5)$$

где $U_A = U_M \cdot \cos \omega t$;

$$U_B = U_M \cdot \cos(\omega t - 2\pi / 3); \quad (6)$$

$$U_C = U_M \cdot \cos(\omega t - 4\pi / 3).$$

С учетом шага по времени Δt в k -ый момент времени:

$$\begin{cases} U_{A,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t]; \\ U_{B,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 2\pi / 3]; \\ U_{C,k} = U_M \cdot \cos[\omega \cdot (k-1) \cdot \Delta t - 4\pi / 3]. \end{cases} \quad (7)$$

$n = 27$.

Выразим производные тока i_A^s , потоков $\Phi_5, \Phi_6, \Phi_7, \Phi_{14}, \Phi_{15}$ и Φ_{16} через конечные разности:

$$\frac{di_A^s}{dt} = \frac{i_{A,k}^s - i_{A,k-1}^s}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_5}{dt} = \frac{\Phi_{5,k} - \Phi_{5,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_6}{dt} = \frac{\Phi_{6,k} - \Phi_{6,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_7}{dt} = \frac{\Phi_{7,k} - \Phi_{7,k-1}}{\Delta t};$$

$$\frac{d\Phi_{14}}{dt} = \frac{\Phi_{14,k} - \Phi_{14,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_{15}}{dt} = \frac{\Phi_{15,k} - \Phi_{15,k-1}}{\Delta t}; \quad \frac{d\Phi_{16}}{dt} = \frac{\Phi_{16,k} - \Phi_{16,k-1}}{\Delta t}.$$

$$U_{A,k} = \left[\frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{5,k} + \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{6,k} + \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{14,k} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{15,k} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{16,k} \right] -$$

$$- \left[\frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{5,k-1} + \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{6,k-1} + \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{7,k-1} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{14,k-1} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{15,k-1} - \frac{\omega_n^s}{\Delta t} \cdot \Phi_{16,k-1} \right] +$$

$$+ \left[r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} \right] \cdot i_{A,k}^s - \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s.$$

Обозначим $\frac{\omega_n^s}{\Delta t} = U$; $r^s + \frac{L_A^s}{\Delta t} = A_S$;

$$\underbrace{[U] \cdot \Phi_{5,k}}_{a_{27,5} x_5} + \underbrace{[U] \cdot \Phi_{6,k}}_{a_{27,6} x_6} + \underbrace{[U] \cdot \Phi_{7,k}}_{a_{27,7} x_7} + \underbrace{[-U] \cdot \Phi_{14,k}}_{a_{27,14} x_{14}} + \underbrace{[-U] \cdot \Phi_{15,k}}_{a_{27,15} x_{15}} + \underbrace{[-U] \cdot \Phi_{16,k}}_{a_{27,16} x_{16}} + \underbrace{[A_S] \cdot i_{A,k}^s}_{a_{27,27} x_{27}} =$$

$$= U \cdot \underbrace{(\Phi_{5,k-1} + \Phi_{6,k-1} + \Phi_{7,k-1} - \Phi_{14,k-1} - \Phi_{15,k-1} - \Phi_{16,k-1})}_{s_{27}} + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot i_{A,k-1}^s + U_{A,k}.$$

$$s_{27} = U \cdot (x_{5,k-1} + x_{6,k-1} + x_{7,k-1} - x_{14,k-1} - x_{15,k-1} - x_{16,k-1}) + \frac{L_A^s}{\Delta t} \cdot x_{27,k-1} + U_{A,k}.$$

Аналогично для строк 28 и 29:

$n = 28.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} U \\ a_{28,11} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{11,k}}_{x_{11}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} U \\ a_{28,12} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{12,k}}_{x_{12}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} U \\ a_{28,13} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{13,k}}_{x_{13}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} -U \\ a_{28,20} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{20,k}}_{x_{20}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} -U \\ a_{28,21} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{21,k}}_{x_{21}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} -U \\ a_{28,22} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{22,k}}_{x_{22}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} r^s + \frac{L_B^s}{\Delta t} \\ a_{28,29} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{29}} = \\ & = U \cdot \underbrace{\left(\Phi_{11,k-1} + \Phi_{12,k-1} + \Phi_{13,k-1} - \Phi_{20,k-1} - \Phi_{21,k-1} - \Phi_{22,k-1} \right)}_{S_{28}} + \frac{L_B^s}{\Delta t} \cdot i_{B,k-1}^s + U_{B,k}. \end{aligned}$$

$$a_{28,11} = U; \quad a_{28,12} = U; \quad a_{28,13} = U; \quad a_{28,20} = -U; \quad a_{28,21} = -U; \quad a_{28,22} = -U; \quad a_{28,29} = B_S;$$

$$S_{28} = U \cdot \left(x_{11,k-1} + x_{12,k-1} + x_{13,k-1} - x_{20,k-1} - x_{21,k-1} - x_{22,k-1} \right) + \frac{L_B^s}{\Delta t} \cdot x_{29,k-1} + U_{B,k}.$$

$n = 29.$

$$\begin{aligned} & \underbrace{\left[\begin{matrix} -U \\ a_{29,8} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{8,k}}_{x_8} + \underbrace{\left[\begin{matrix} -U \\ a_{29,9} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{9,k}}_{x_9} + \underbrace{\left[\begin{matrix} -U \\ a_{29,10} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{10,k}}_{x_{10}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} U \\ a_{29,17} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{17,k}}_{x_{17}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} U \\ a_{29,18} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{18,k}}_{x_{18}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} U \\ a_{29,19} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{\Phi_{19,k}}_{x_{19}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} r^s + \frac{L_C^s}{\Delta t} \\ a_{29,28} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{28}} = \\ & = U \cdot \underbrace{\left(-\Phi_{8,k-1} - \Phi_{9,k-1} - \Phi_{10,k-1} + \Phi_{17,k-1} + \Phi_{18,k-1} + \Phi_{19,k-1} \right)}_{S_{29}} + \frac{L_C^s}{\Delta t} \cdot i_{C,k-1}^s + U_{C,k}. \end{aligned}$$

$$a_{29,8} = -U; \quad a_{29,9} = -U; \quad a_{29,10} = -U; \quad a_{29,17} = U; \quad a_{29,18} = U; \quad a_{29,19} = U; \quad a_{29,28} = C_S;$$

$$S_{29} = U \cdot \left(-x_{8,k-1} - x_{9,k-1} - x_{10,k-1} + x_{17,k-1} + x_{18,k-1} + x_{19,k-1} \right) + \frac{L_C^s}{\Delta t} \cdot x_{28,k-1} + U_{C,k}.$$

$n = 30.$

Наконец, сумма токов определяет элементы тридцатой строки матрицы **A** и элемент S_{30} матрицы-столбца **S**.

$$\underbrace{\left[\begin{matrix} 1 \\ a_{30,27} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} 1 \\ a_{30,28} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{i_{B,k}^s}_{x_{28}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} 1 \\ a_{30,29} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{i_{C,k}^s}_{x_{29}} + \underbrace{\left[\begin{matrix} -1 \\ a_{30,30} \end{matrix} \right]} \cdot \underbrace{i_{0,k}^s}_{x_{30}} = \underbrace{0}_{S_{30}}.$$

Окончательно, матрица **A** примет следующий вид, удобный для программирования в MATLAB (рис. 4).

Неизвестные переменные (потоки и токи в статорной обмотке) в k -й момент времени определяются в результате следующей операции с матрицами:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{S},$$

Далее, подставляя в уравнение (1) $n = 1 \dots 26$, определяем токи в роторе:

$$i_1^r = 1000 \cdot R_\delta \cdot \underbrace{\Phi_1}_{x_1} - R_\delta \cdot (0 + 500 \cdot \underbrace{\Phi_2}_{x_2});$$

$$i_2^r = 550 \cdot R_\delta \cdot x_2 - R_\delta \cdot (500 \cdot x_1 + 50 \cdot x_3);$$

$$i_3^r = 55 \cdot R_\delta \cdot x_3 - R_\delta \cdot (50 \cdot x_2 + 5 \cdot x_4);$$

$$i_4^r = 6 \cdot R_\delta \cdot x_4 - R_\delta \cdot (5 \cdot x_3 + x_5);$$

$$i_5^r = -\omega_n^s \cdot \underbrace{i_{A,k}^s}_{x_{27}} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_5 - R_\delta \cdot (x_4 + x_6);$$

$$i_6^r = -\omega_n^s \cdot x_{27} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_6 - R_\delta \cdot (x_5 + x_7);$$

$$i_7^r = -\omega_n^s \cdot x_{27} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_7 - R_\delta \cdot (x_6 + x_8);$$

$$i_8^r = -\omega_n^s \cdot \underbrace{(-1) \cdot x_{28}}_{-i_C} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_8 - R_\delta \cdot (x_7 + x_9);$$

$$i_9^r = -\omega_n^s \cdot (-1) \cdot x_{28} + 2 \cdot R_\delta \cdot x_9 - R_\delta \cdot (x_8 + x_{10});$$

$$i_{26}^r = 1000 \cdot R_{\delta} \cdot x_{26} - R_{\delta} \cdot (500 \cdot x_{25} + 0).$$

Электромагнитные усилия на зубцовом делении определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{x_2 - x_1}{2t_z} \cdot i_1^r; & F_2 &= \frac{x_3 - x_1}{2t_z} \cdot i_2^r; & F_3 &= \frac{x_4 - x_2}{2t_z} \cdot i_3^r; & F_4 &= \frac{x_5 - x_3}{2t_z} \cdot i_4^r; \\ F_5 &= \frac{x_6 - x_4}{2t_z} \cdot i_5^r; & F_6 &= \frac{x_7 - x_5}{2t_z} \cdot i_6^r; & F_7 &= \frac{x_8 - x_6}{2t_z} \cdot i_7^r; & F_8 &= \frac{x_9 - x_7}{2t_z} \cdot i_8^r; \\ F_9 &= \frac{x_{10} - x_8}{2t_z} \cdot i_9^r; & F_{10} &= \frac{x_{11} - x_9}{2t_z} \cdot i_{10}^r; & F_{11} &= \frac{x_{12} - x_{10}}{2t_z} \cdot i_{11}^r; & F_{12} &= \frac{x_{13} - x_{11}}{2t_z} \cdot i_{12}^r; \\ F_{13} &= \frac{x_{14} - x_{12}}{2t_z} \cdot i_{13}^r; & F_{14} &= \frac{x_{15} - x_{13}}{2t_z} \cdot i_{14}^r; & F_{15} &= \frac{x_{16} - x_{14}}{2t_z} \cdot i_{15}^r; & F_{16} &= \frac{x_{17} - x_{15}}{2t_z} \cdot i_{16}^r; \\ F_{17} &= \frac{x_{18} - x_{16}}{2t_z} \cdot i_{17}^r; & F_{18} &= \frac{x_{19} - x_{17}}{2t_z} \cdot i_{18}^r; & F_{19} &= \frac{x_{20} - x_{18}}{2t_z} \cdot i_{19}^r; & F_{20} &= \frac{x_{21} - x_{19}}{2t_z} \cdot i_{20}^r; \\ F_{21} &= \frac{x_{22} - x_{20}}{2t_z} \cdot i_{21}^r; & F_{22} &= \frac{x_{23} - x_{21}}{2t_z} \cdot i_{22}^r; & F_{23} &= \frac{x_{24} - x_{22}}{2t_z} \cdot i_{23}^r; & F_{24} &= \frac{x_{25} - x_{23}}{2t_z} \cdot i_{24}^r; \\ F_{25} &= \frac{x_{26} - x_{24}}{2t_z} \cdot i_{25}^r; & F_{26} &= \frac{-x_{25}}{2t_z} \cdot i_{26}^r. \end{aligned}$$

$$\text{Суммарное усилие: } F_{\Sigma} = \sum_{n=1}^{26} F_n.$$

$$\text{Скорость в } k\text{-й момент времени: } v_k = v_{k-1} + \frac{F_{\Sigma}}{m} \cdot \Delta t.$$

Произведем построение математической модели асинхронного двигателя методом Гаусса-Жордана с использованием языка программирования MATLAB. Ниже приведен пример кода.

```
% Математическая модель ЛАД с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым
% проводом Z=18
% function lad_z18_zero
% Исходные данные асинхронного двигателя
Rb=0.1003*10^7;
rs=14.25;
LsA=0.0555;
LsB=0.057;
LsC=0.0525;
rr=(6.9518*10^-5);
Lr=(0.0558*10^-5);
dt=0.001;
As=rs+LsA/dt;
Bs=rs+LsB/dt;
Cs=rs+LsC/dt;
tz=9.769*10^-3;
m=3.8;
v0=0;
wn=200;
f=50;
w=2*pi*f;
UA=wn/dt;
Um=310;
X=zeros(30,1);
F=0;
K=input('Длительность цикла k=');
for k=1:(K+1)
    v(1,k)=v0; % Создание вектор-строки для графика скорости
```

```

        f(1,k)=sum(F);           % Создание вектор-строки для графика усилия
        Ua=Um*cos(w*(k-1)*dt);
        Ub=Um*cos(w*(k-1)*dt-2*pi/3);
        Uc=Um*cos(w*(k-1)*dt-4*pi/3);
        i0(1,k)=X(30);
        i_a(1,k)=X(27);
        i_b(1,k)=X(29);
        i_c(1,k)=X(28);

% Формирование матрицы A
        A=zeros(30);

        B=2*Rb*(rr+Lr/dt)+1/dt;
        B1=6*Rb*(rr+Lr/dt)+(-4*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
        B2=55*Rb*(rr+Lr/dt)+(-45*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
        B3=550*Rb*(rr+Lr/dt)+(-450*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
        B4=1000*Rb*(rr+Lr/dt)+1/dt;
        B5=550*Rb*(rr+Lr/dt)+450*Rb*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
        B6=55*Rb*(rr+Lr/dt)+(45*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;
        B7=6*Rb*(rr+Lr/dt)+(4*Rb)*Lr*v0/(2*tz)+1/dt;

        C=-Rb*(rr+Lr/dt)+(2*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C1=-Rb*(rr+Lr/dt)+(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C2=-5*Rb*(rr+Lr/dt)+(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C3=-50*Rb*(rr+Lr/dt)+(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C4=-500*Rb*(rr+Lr/dt)+(1000*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C5=-500*Rb*(rr+Lr/dt)+(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C6=-50*Rb*(rr+Lr/dt)+(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        C7=-5*Rb*(rr+Lr/dt)+(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);

        D=-Rb*Lr*v0/(2*tz);
        D1=5*D;
        D2=50*D;
        D3=500*D;

        E=-Rb*(rr+Lr/dt)-(2*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E1=-5*Rb*(rr+Lr/dt)-(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E2=-50*Rb*(rr+Lr/dt)-(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E3=-500*Rb*(rr+Lr/dt)-(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E4=-500*Rb*(rr+Lr/dt)-(1000*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E5=-50*Rb*(rr+Lr/dt)-(550*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E6=-5*Rb*(rr+Lr/dt)-(55*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);
        E7=-Rb*(rr+Lr/dt)-(6*Rb*Lr+1)*v0/(2*tz);

        T=-wn*Lr*v0/(2*tz);
        Y=-wn*(rr+Lr/dt);
        M=Y+T;
        N=Y-T;

        W1=-wn*Lr/dt;
        P=-Rb*Lr/dt;
        Q=(2*Rb*Lr+1)/dt;
        Q1=(6*Rb*Lr+1)/dt;
        Q2=(55*Rb*Lr+1)/dt;
        Q3=(550*Rb*Lr+1)/dt;
        Q4=(1000*Rb*Lr+1)/dt;
    
```

```

for n=1:3
    A(3*n+1,n+26)=(-1)^(n+1)*T;
    A(3*n+2,n+26)=(-1)^(n+1)*M;
    A(3*n+3,n+26)=(-1)^(n+1)*Y;
    A(3*n+4,n+26)=(-1)^(n+1)*N;
    A(3*n+5,n+26)=(-1)^n*T;
    A(3*n+10,n+26)=(-1)^n*T;
    A(3*n+11,n+26)=(-1)^n*M;
    A(3*n+12,n+26)=(-1)^n*Y;
    A(3*n+13,n+26)=(-1)^n*N;
    A(3*n+14,n+26)=(-1)^(n+1)*T;
end;

    for n=1:3
        A(30,n+26)=1;           %hh
end;
    A(30,30)=-1;           %jgj
    for n=1:18
        A(n+4,n+4)=B;
        A(n+5,n+4)=E;
        A(n+3,n+4)=C;
    end;

    for n=1:19
        A(n+2,n+4)=D;
        A(n+5,n+3)=-D;
    end;
A(1,1)=B4;
A(1,2)=C5;
A(1,3)=D2;
A(2,1)=E4;
A(2,2)=B5;
A(2,3)=C6;
A(2,4)=D1;
A(3,1)=-D3;
A(3,2)=E5;
A(3,3)=B6;
A(3,4)=C7;
A(4,2)=-D2;
A(4,3)=E6;
A(4,4)=B7;
A(5,3)=-D1;
A(5,4)=E7;
A(22,23)=C1;
A(22,24)=D1;
A(23,23)=B1;
A(23,24)=C2;
A(23,25)=D2;
A(24,23)=E1;
A(24,24)=B2;
A(24,25)=C3;
A(24,26)=D3;
A(25,23)=-D1;
A(25,24)=E2;
A(25,25)=B3;

```

```

A(25,26)=C4;
A(26,24)=-D2;
A(26,25)=E3;
A(26,26)=B4;
for n=1:3
    A(27,n+4)=UA;
    A(27,n+13)=-UA;
    A(28,n+10)=UA;
    A(28,n+19)=-UA;
    A(29,n+7)=-UA;
    A(29,n+16)=UA;
end;
A(27,27)=As;
A(28,29)=Bs;
A(29,28)=Cs;

```

```

% Матрица свободных членов
S=[
    Q4*X(1)+P*(500*X(2)); %1
    Q3*X(2)+P*(500*X(1)+50*X(3)); %2
    Q2*X(3)+P*(50*X(2)+5*X(4)); %3
    Q1*X(4)+P*(5*X(3)+X(5)); %4
    W1*X(27)+Q*X(5)+P*(X(4)+X(6)); %5
    W1*X(27)+Q*X(6)+P*(X(5)+X(7)); %6
    W1*X(27)+Q*X(7)+P*(X(6)+X(8)); %7
    (-1)*W1*X(28)+Q*X(8)+P*(X(7)+X(9)); %8
    (-1)*W1*X(28)+Q*X(9)+P*(X(8)+X(10)); %9
    (-1)*W1*X(28)+Q*X(10)+P*(X(9)+X(11)); %10
    W1*X(29)+Q*X(11)+P*(X(10)+X(12)); %11
    W1*X(29)+Q*X(12)+P*(X(11)+X(13)); %12
    W1*X(29)+Q*X(13)+P*(X(12)+X(14)); %13
    (-1)*W1*X(27)+Q*X(14)+P*(X(13)+X(15)); %14
    (-1)*W1*X(27)+Q*X(15)+P*(X(14)+X(16)); %15
    (-1)*W1*X(27)+Q*X(16)+P*(X(15)+X(17)); %16
    W1*X(28)+Q*X(17)+P*(X(16)+X(18)); %17
    W1*X(28)+Q*X(18)+P*(X(17)+X(19)); %18
    W1*X(28)+Q*X(19)+P*(X(18)+X(20)); %19
    (-1)*W1*X(29)+Q*X(20)+P*(X(19)+X(21)); %20
    (-1)*W1*X(29)+Q*X(21)+P*(X(20)+X(22)); %21
    (-1)*W1*X(29)+Q*X(22)+P*(X(21)+X(23)); %22
    Q1*X(23)+P*(X(22)+5*X(24)); %23
    Q2*X(24)+P*(5*X(23)+50*X(25)); %24
    Q3*X(25)+P*(50*X(24)+500*X(26)); %25
    Q4*X(26)+P*500*X(25); %26
    UA*(X(5)+X(6)+X(7)-X(14)-X(15)-X(16))+ (LsA/dt)*X(27)+Ua; %27
    UA*(X(11)+X(12)+X(13)-X(20)-X(21)-X(22))+ (LsB/dt)*X(29)+Ub; %28
    UA*(-X(8)-X(9)-X(10)+X(17)+X(18)+X(19))+ (LsC/dt)*X(28)+Uc; %29
    0]; %30

```

```

% Решение методом Гаусса-Жордана
Z=rref([A S]); % Приведение расширенной матрицы к треугольному виду
X=Z(1:30,31:31); % Выделение последнего столбца из матрицы

```

```

% Ток в роторе
Ir=[
    1000*Rb*X(1)-Rb*(500*X(2)); %1
    550*Rb*X(2)-Rb*(500*X(1)+50*X(3)); %2

```

```

55*Rb*X(3)-Rb*(50*X(2)+5*X(4)); %3
6*Rb*X(4)-Rb*(5*X(3)+X(5)); %4
-wn*X(27)+2*Rb*X(5)-Rb*(X(4)+X(6)); %5
-wn*X(27)+2*Rb*X(6)-Rb*(X(5)+X(7)); %6
-wn*X(27)+2*Rb*X(7)-Rb*(X(6)+X(8)); %7
(-1)*(-wn)*X(28)+2*Rb*X(8)-Rb*(X(7)+X(9)); %8
(-1)*(-wn)*X(28)+2*Rb*X(9)-Rb*(X(8)+X(10)); %9
(-1)*(-wn)*X(28)+2*Rb*X(10)-Rb*(X(9)+X(11)); %10
-wn*X(29)+2*Rb*X(11)-Rb*(X(10)+X(12)); %11
-wn*X(29)+2*Rb*X(12)-Rb*(X(11)+X(13)); %12
-wn*X(29)+2*Rb*X(13)-Rb*(X(12)+X(14)); %13
(-1)*(-wn)*X(27)+2*Rb*X(14)-Rb*(X(13)+X(15)); %14
(-1)*(-wn)*X(27)+2*Rb*X(15)-Rb*(X(14)+X(16)); %15
(-1)*(-wn)*X(27)+2*Rb*X(16)-Rb*(X(15)+X(17)); %16
-wn*X(28)+2*Rb*X(17)-Rb*(X(16)+X(18)); %17
-wn*X(28)+2*Rb*X(18)-Rb*(X(17)+X(19)); %18
-wn*X(28)+2*Rb*X(19)-Rb*(X(18)+X(20)); %19
(-1)*(-wn)*X(29)+2*Rb*X(20)-Rb*(X(19)+X(21)); %20
(-1)*(-wn)*X(29)+2*Rb*X(21)-Rb*(X(20)+X(22)); %21
(-1)*(-wn)*X(29)+2*Rb*X(22)-Rb*(X(21)+X(23)); %22
6*Rb*X(23)-Rb*(X(22)+5*X(24)); %23
55*Rb*X(24)-Rb*(5*X(23)+50*X(25)); %24
550*Rb*X(25)-Rb*(50*X(24)+500*X(26)); %25
1000*Rb*X(26)-Rb*(500*X(25)); %26

```

```
% Электромагнитное усилие
```

```

F(1)=X(2)*Ir(1)/(2*tz);
for n=1:24
F(n+1)=(X(n+2)-X(n))*Ir(n+1)/(2*tz);
end;
F(26)=-X(25)*Ir(26)/(2*tz);

```

```
% Скорость
```

```
v0=v0+(sum(F)/m)*dt;
```

```
end;
```

```
% Построение графиков
```

```

k=0:K;
subplot(2,1,1);
plot(k*dt,v);
title('Скорость');
xlabel('t,c');
ylabel('v,m/c');
grid on;
subplot(2,1,2);
plot(k*dt,f);
title('Электромагнитное усилие');
xlabel('t,c');
ylabel('F,H');
grid on;
% end

```

Временные зависимости скорости и электромагнитного усилия линейного асинхронного двигателя в режиме прямого пуска, полученные на математической модели, представлены на рис. 4.

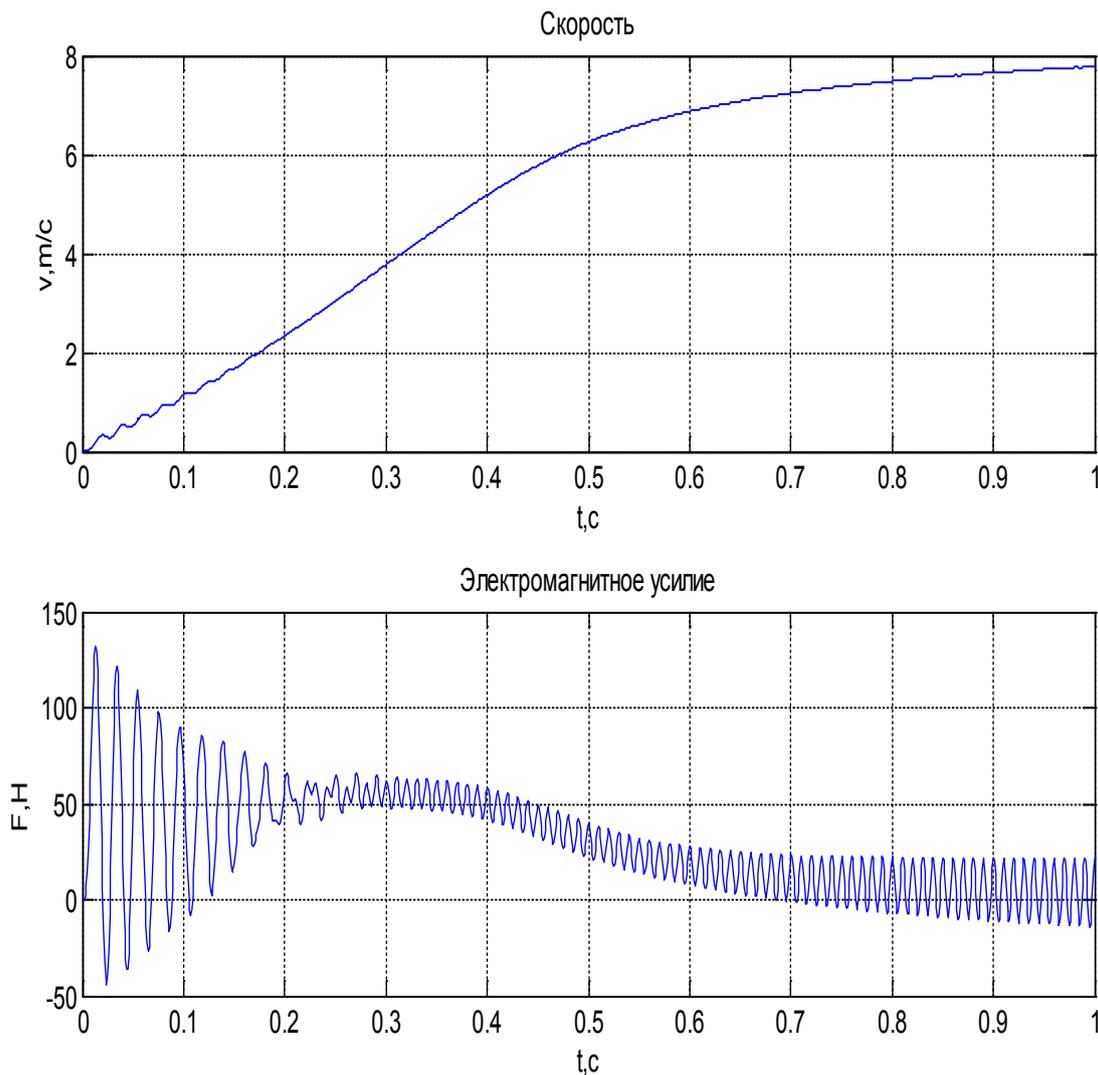


Рис. 4. Результат моделирования линейного асинхронного двигателя в режиме прямого пуска

Зависимости токов i_A^s , i_B^s , i_C^s и i_0^s даны на рис. 5 и 6.

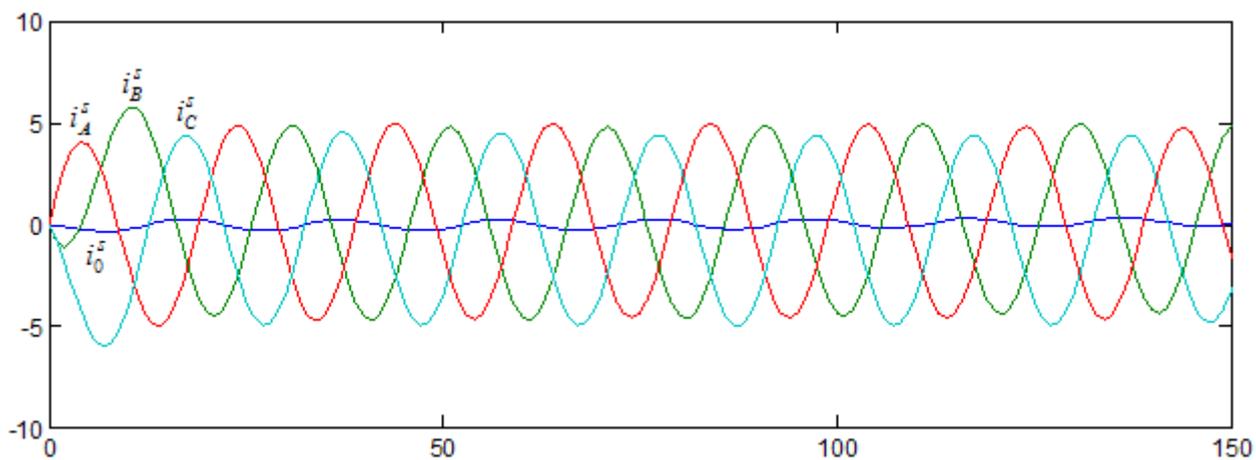


Рис. 5. Временные зависимости i_A^s , i_B^s , i_C^s и i_0^s при $k = 150$

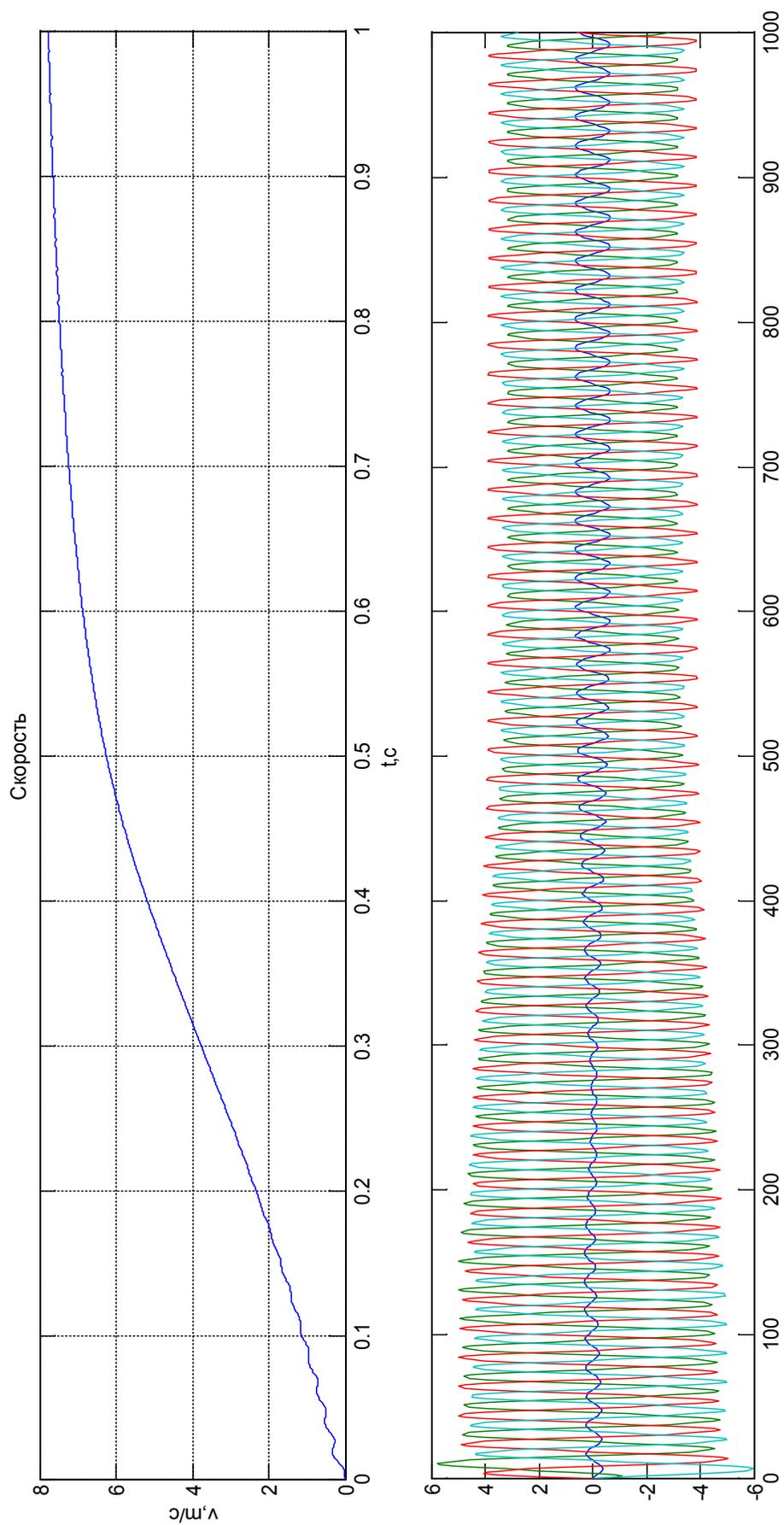


Рис. 6. Временные зависимости i_A^S , i_B^S , i_C^S и i_0^S при $k = 1000$

Литература:

1. Емельянов, А. А. и др. Математическая модель линейного асинхронного двигателя на основе магнитных схем замещения/Емельянов А. А., Богатов Е. А., Клишин А. В., Медведев А. В., Симонович В. Г. // Молодой ученый. — 2010. — №5. — с. 14–22.
2. Емельянов, А. А. и др. Программирование линейного асинхронного двигателя в MATLAB/Емельянов А. А., Медведев А. В., Богатов Е. А., Кобзев А. В., Бочкарев Ю. П. // Молодой ученый. — 2013. — №3. — с. 129–143.
3. Емельянов, А. А. и др. Программирование линейного асинхронного двигателя ($Z1 = 12$) с трехфазной обмоткой индуктора с нулевым проводом/Емельянов А. А., Кобзев А. В., Козлов А. М., Бесклеткин В. В., Бочкарев Ю. П., Авдеев А. С., Киряков Г. А., Чернов М. В., Габзалилов Э. Ф., Иванин А. Ю. // Молодой ученый. — 2014. — №3. — с. 28–47.
4. Ануфриев, И. Е. и др. MATLAB 7/Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н.. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 1104 с.

Волновые функции электрона в квантовых точках «ядро/оболочка» типа I

Игошина Светлана Евгеньевна, кандидат физико-математических наук, доцент;

Карманов Андрей Андреевич, аспирант

Пензенский государственный университет

В настоящее время интенсивно проводятся исследования и разработки новых композитных наноматериалов, электрофизические [1, 2], магнитные [3, 4], оптические [5, 6] и другие свойства которых определяются проявлением в них размерных эффектов [7–8]. Такие материалы используются для создания устройств нано-, микро- и оптоэлектроники нового поколения, включая сверхвысокочувствительные газовые сенсоры [9–15], акустические модуляторы [16–17] и т. д.

Значительный интерес представляют многослойные структуры, включающие органические матрицы и внедренные в них полупроводниковые квантовые точки (КТ) сферической и более сложной формы [18–20]. Полупроводниковые КТ представляют собой нанокристаллы, размеры которых соизмеримы с радиусом экситона Бора для данного материала, что обуславливает их уникальные электрооптические свойства. Они обладают некоторыми свойствами молекул и некоторыми свойствами объемных полупроводников, не являясь, по сути, полностью ни тем, ни другим.

Квантовые точки наиболее часто получают методами, основанными на использовании явления самоорганизации, такими как молекулярно-лучевая эпитаксия [21] и коллоидный синтез [22–23]. Методы коллоидной химии позволяют синтезировать КТ различных геометрических размеров и формы, в том числе квантовые точки на основе твердых растворов и гетеропереходов (core/shell quantum dots) [24].

По аналогии с классической теорией гетеропереходов различают два основных типа КТ «ядро/оболочка» [25]. Ширины запрещенных зон полупроводников в КТ типа II сопоставимы, однако края зон сдвинуты друг относительно друга. Такие квантовые точки демонстрируют пространственное разделение носителей заряда и могут быть интересны для создания систем с большим временем жизни электронно-дырочной пары, вследствие уменьшения перекрытия волновых функций электрона и дырки. Кроме того, для КТ типа II характерно уменьшение эффективной ширины запрещенной зоны и смещение максимумов люминесценции в красноволновую область. Ядро КТ типа I выполнено из узкозонного полупроводника, оболочка из широкозонного, она выступает в роли пассиватора поверхностных состояний и локализует электронно-дырочную пару внутри ядра. Данный подход используется для увеличения эффективности люминесценции КТ. Необходимо отметить, что, несмотря на большое количество экспериментальных работ посвящённых получению и исследованию КТ «ядро/оболочка», теоретически их электрофизические и оптические свойства описаны не в полной мере [26]. В данной работе рассматриваются особенности волновых функций электронов в квантовых точках «ядро/оболочка» типа I (рисунок 1).

Расчёт проводится в модели «жестких» стенок. Стационарное уравнение Шредингера в приближении эффективной массы имеет вид:

$$-\frac{\hbar^2}{2m(r)}\nabla^2\psi + U(r)\psi = E\psi$$

Потенциал $U(r)$ и эффективная масса электрона $m(r)$ внутри квантовой точки имеют вид:

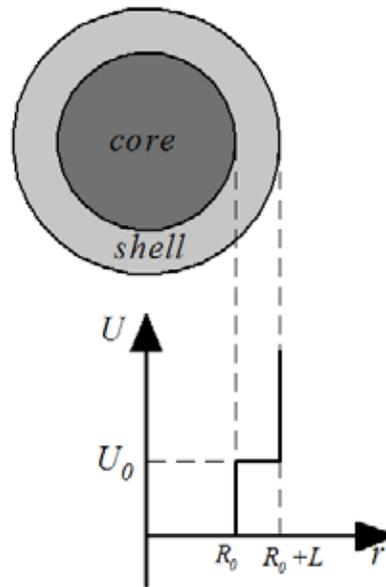


Рис. 1. Модель квантовой точки «ядро/оболочка» типа I

$$U(r) = \begin{cases} 0 & r \leq R_0 \\ U_0 & R_0 < r \leq R_0 + L \\ \infty & r > R_0 + L \end{cases}$$

$$m(r) = \begin{cases} m_1^* & r \leq R_0 \\ m_2^* & R_0 < r \leq R_0 + L \end{cases}$$

где U_0 — высота потенциального барьера, m_1^* , m_2^* — эффективные масса электрона внутри ядра и оболочки.
С учётом сферической симметрии, а также вида потенциала находим решение уравнение Шредингера по методу разделения переменных:

$$\psi_m^i(r, \theta, \varphi) = R_l^i(r) Y_m(\theta, \varphi)$$

где $R_l^i(r)$ — радиальная часть волновой функции в соответствующих областях ($i = 1$ — ядро, $i = 2$ — оболочка);
 $Y_m(\theta, \varphi)$ — сферические гармоники, $l = 0, 1, 2, \dots$; $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ — орбитальное и магнитное квантовые числа.

Радиальная часть $R_l^i(r)$ удовлетворяет уравнению на функции Бесселя:
внутри ядра КТ

$$\frac{\partial^2 R_l^1(r)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R_l^1(r)}{\partial r} + \left(k_1^2 - \frac{l(l+1)}{r^2}\right) R_l^1(r) = 0 \tag{1}$$

внутри оболочки КТ

$$\frac{\partial^2 R_l^2(r)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R_l^2(r)}{\partial r} + \left(k_2^2 - \frac{l(l+1)}{r^2}\right) R_l^2(r) = 0 \tag{2}$$

где $k_1^2 = \frac{2m_1^*}{\hbar^2} E$, $k_2^2 = \frac{2m_2^*}{\hbar^2} (E - U_0)$ — квадрат волнового числа.

Решение уравнений (1) и (2) имеет вид:

$$R_l^i(r) = \begin{cases} C_1 j_l(k_1 r) & r \leq R_0 \\ C_2 j_l(k_2 r) & R_0 < r \leq R_0 + L \end{cases}$$

где C_1, C_2 — нормировочные коэффициенты, определяемые из условия равенства волновых функций на границе раздела ядро/оболочка, а также нормировки на дискретный спектр:

$$C_1 j_l(k_1 R_0) = C_2 j_l(k_2 R_0) \tag{3}$$

$$m_2^* C_1 \left. \frac{dj_l(k_1 r)}{dr} \right|_{r=R_0} = m_1^* C_2 \left. \frac{dj_l(k_2 r)}{dr} \right|_{r=R_0} \tag{4}$$

$$\int_0^{R_0+L} R_l^i(r) r^2 dr = 1$$

Исходя из всего выше изложенного, волновая функция электрона для квантовой точки «ядро/оболочка» типа I примет вид:

$$\psi(r, \theta, \varphi) = \begin{cases} C_1 j_l(k_1 r) Y_m(\theta, \varphi) & r \leq R_0 \\ C_1 \frac{j_l(k_1 R_0)}{j_l(k_2 R_0)} j_l(k_2 r) Y_m(\theta, \varphi) & R_0 < r \leq R_0 + L, \\ 0 & r > R_0 + L \end{cases} \tag{5}$$

где

$$C_1 = \frac{j_l(k_2 R_0) \sqrt{2}}{\sqrt{R_0^3 j_l^2(k_2 R_0) a_l + j_l^2(k_1 R_0) \{ (R_0 + L)^3 b_l - R_0^3 c_l \}}}$$

$$a_l = j_l^2(k_1 R_0) - j_{l+1}(k_1 R_0) j_{l-1}(k_1 R_0)$$

$$b_l = j_l^2(k_2 (R_0 + L)) - j_{l+1}(k_2 (R_0 + L)) j_{l-1}(k_2 (R_0 + L))$$

$$c_l = j_l^2(k_2 R_0) - j_{l+1}(k_2 R_0) j_{l-1}(k_2 R_0)$$

Численный анализ (5) применительно электронам в квантовой точке «ядро/оболочка» типа I на основе CdSe/ZnS представлен на рисунке 2 ($m_{\text{CdSe}}=0.13m_0$, $m_{\text{ZnS}}=0.28m_0$, здесь m_0 — масса покоя электрона; $U_0=0.7\text{эВ}$).

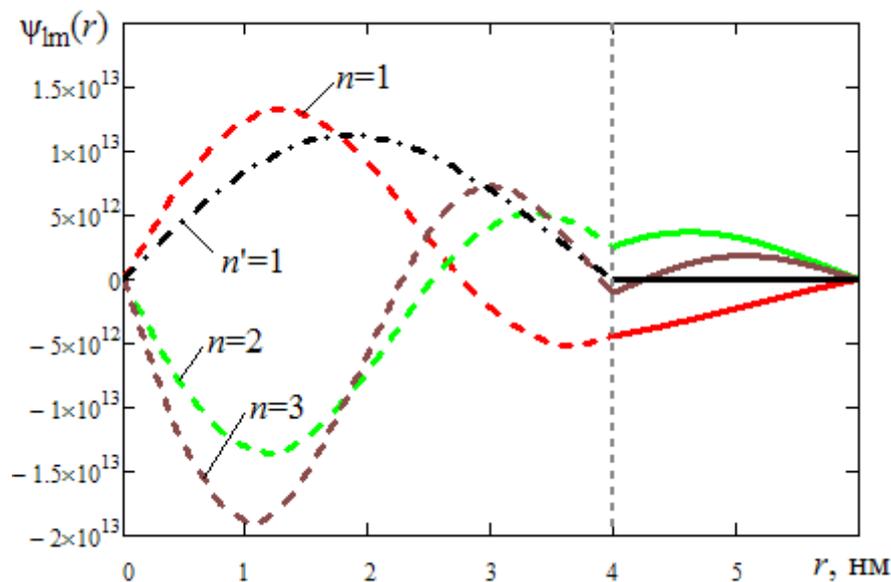


Рис. 2. Волновые функции электрона в квантовой точке «ядро/оболочка» типа I: $R_0=4\text{нм}$; $L=2\text{нм}$; $l=1$; $m=1$

Из рисунка 2 видно, что волновые функции электронов на границе раздела ядро/оболочка КТ непрерывны и обращается в ноль на границе раздела оболочка/внешняя среда. Трехмерное пространственное ограничение движения но-

сителей заряда в КТ приводит к расщеплению их непрерывного энергетического спектра на дискретные уровни квантования. Энергетическим уровням с энергией $E < U_0$ соответствуют волновые функции с главным квантовым числом $n' = 1$, а уровням с энергией $E > U_0$ волновые функции с $n = 1, n = 2, n = 3$ и т.д. Число энергетических уровней с $E < U_0$ конечно, причем вероятность нахождения электронов, внутри ядра КТ составляет 1, а для первых трех уровней с $E > U_0$ она равна 0.724, 0.643 и 0.921 соответственно.

Таким образом, наличие оболочки КТ из широкозонного материала приводит к возникновению дополнительных возможности управления положением квантовых уровней, что представляет интерес для оптимизации энергетической структуры квантовых точек с целью получения реальных структур с заданными электрофизическими и оптическими свойствами.

Литература:

1. Карпова, С. С., Грачева И. Е., Мошников В. А. Об особенностях спектров полной проводимости сетчатых нанокompозитных слоев на основе диоксида олова // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2010. — № 4. — с. 3–7.
2. Аверин, И. А., Карманов А. А., Мошников В. А., Печерская Р. М., Пронин И. А. Особенности синтеза и исследования нанокompозитных пленок, полученных методом золь-гель технологии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2. — с. 155–162.
3. Богачев, Ю. В., Гареев К. Г., Матюшкин Л. Б., Мошников В. А., Наумова А. Н. Исследование суспензии наночастиц магнетита методом фотометрии и ЯМР-релаксометрии // Физика твердого тела, 2013. — Т. 55. — № 12. — с. 2313–2317.
4. Костишин, В. Г., Вергазов Р. М., Андреев В. Г., Бибииков С. Б., Подгорная С. В., Мордченко А. Т. Влияние микроструктуры на свойства радиопоглощающих никель-цинковых ферритов // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. — 2010. — № 4. — с. 18–21.
5. Кревчик, В. Д., Калинин Е. Н., Яшин С. В., Игошина С. Е. Электрооптика полупроводниковой квантовой ямы с —центрами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2007. — № 1. — с. 133–137.
6. Спивак, Ю. М., Мошников В. А. Особенности строения фоточувствительных поликристаллических слоев сетчатого типа на основе PbCdSe < I > // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2010. — № 1. — с. 97–102.
7. Аверин, И. А., Игошина С. Е., Карманов А. А., Пронин И. А. Моделирование образования золь-гель нанокompозитных пленок // Труды международного симпозиума Надежность и качество. — 2013. — Т. 2. — с. 201–205.
8. Кревчик, В. Д., Грунин А. Б., Игошина С. Е., Евстифеев В. В., Разумов А. В. Особенности квантово-размерного эффекта Штарка в спектрах примесного поглощения квазинульмерных структур // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2007. — № 1. — с. 124–132.
9. Аверин, И. А., Никулин А. С., Печерская Р. М., Пронин И. А. Чувствительные элементы газовых сенсоров на основе пористых нанопленок // Труды международного симпозиума Надежность и качество. — 2010. — Т. 2. — с. 101–103.
10. Карманов, А. А. Особенности синтеза материалов для чувствительных элементов мультисенсорных систем золь-гель методом // Труды международного симпозиума Надежность и качество. — 2013. — Т. 2. — с. 115–118.
11. Аверин, И. А., Карманов А. А., Пронин И. А. Моделирование процессов газочувствительности полупроводниковых сетчатых композитов на основе SiO₂-SnO₂ // Труды международного симпозиума Надежность и качество. — 2012. — Т. 1. — с. 214–216.
12. Грачева, И. Е., Мошников В. А. Осипов Ю. В. Анализ процессов на поверхности газочувствительных наноструктур методом спектроскопии полной проводимости // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2008. — № 6. — с. 19–24.
13. Аверин, И. А., Карманов А. А., Пронин И. А. Моделирование процессов газочувствительности полупроводниковых сетчатых композитов на основе SiO₂-SnO₂ // Труды международного симпозиума Надежность и качество. — 2012. — Т. 1. — с. 214–216.
14. Аверин, И. А., Игошина С. Е., Карманов А. А. Исследование частотных зависимостей емкости наноструктур на основе SiO₂-SnO₂ // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2013. — № 3 (27). — с. 168–175.
15. Аверин, И. А., Пронин И. А., Карманов А. А. Исследование газочувствительности сенсоров на основе наноструктурированных композиционных материалов SiO₂-SnO₂ // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — № 5. — с. 23–26.
16. Кревчик, В. Д., Игошина С. Е. Теория квантового акустического модулятора с прыжковым механизмом проводимости // Новые промышленные технологии. — 2006. — № 1. — с. 50.

17. Артемов, И. О., Кревчик В. Д., Игошина С. Е. Модель акустического модулятора на основе квантовой ямы с прыжковым механизмом проводимости // Нанотехника. 2006. — №7. — с. 16–20.
18. Мараева, Е. В., Матюшкин Л. Б. Получение и исследование нанодисперсных и наноструктурированных халькогенидов свинца // Молодой ученый. — 2012. — №7. — с. 33–36.
19. Игошина, С. Е. Электрооптика квантовых ям и квантовых точек с примесными центрами // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Пенза. — 2007.
20. Тарасов, С. А., Александрова О. А., Максимов А. И., Мараева Е. В., Матюшкин Л. Б., Менькович Е. А., Мошников В. А., Мусихин С. Ф. Исследование процессов самоорганизации квантовых точек сульфида свинца // Известия высших учебных заведений. Электроника. — 2013. — №3 (101). — с. 28–32.
21. Неведомский, В. Н., Берт Н. А., Чалдышев В. В., Преображенский В. В., Путятю М. А., Семягин Б. Р. Структуры GaAs с квантовыми точками InAs и As, полученные в едином процессе молекулярно-лучевой эпитаксии // Физика и техника полупроводников. — 2009. — Т. 43. — №12. — с. 1662–1666.
22. Александрова, О. А., Максимов А. И., Мараева Е. В., Матюшкин Л. Б., Мошников В. А., Мусихин С. Ф., Тарасов С. А. Синтез и самоорганизация квантовых точек сульфида свинца для люминесцентных структур, полученных методом испарения коллоидного раствора // Нано- и микросистемная техника. — 2013. — №2. — с. 19–23.
23. Матюшкин, Л. Б., Александрова О. А., Максимов А. И., Мошников В. А., Мусихин С. Ф. Особенности синтеза люминесцирующих полупроводниковых наночастиц в полярных и неполярных средах // Биотехносфера. — 2013. — №2 (26). — с. 27–32.
24. Сперанская, Е. С., Гофман В. В., Дмитриенко А. О., Дмитриенко В. П., Акмаева Т. А., Потапкин Д. В., Горячева И. Ю. Синтез гидрофобных и гидрофильных квантовых точек ядро-оболочка // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. — 2012. — Т. 12. — №4. — с. 3–10.
25. Витухновский, А. Г., Ващенко А. А., Лебедев В. С., Васильев Р. Б., Брунков П. Н., Бычковский Д. Н. Механизм передачи электронного возбуждения в органических светоизлучающих устройствах на основе полупроводниковых квантовых точек // Физика и техника полупроводников. — 2013. — Т. 47. — №7. — с. 962–969.
26. Igoshina, S. E., Karmanov A. A. Features of the electronic spectrum in a type-I core-shell quantum dot // Quantum Electronics. — 2013. — Т. 43. — №1. — с. 76–78.

Экспериментальное исследование горения малой примеси углеводородов применительно к подтверждению гипотезы шаровой молнии

Калашников Сергей Васильевич, аспирант;
Моисеев Михаил Александрович, аспирант
Бурятский государственный университет (г. Улан-Удэ)

В статье рассматриваются одни из важнейших экспериментов, проведенных в области изучения природы шаровой молнии — эксперименты Науэра по моделированию шаровой молнии (1950-е гг.). Мы посчитали важным повторить эти опыты и модернизировать их, стараясь получить новые сведения и уточнить старые с целью дальнейшего развития экспериментальной части изучения данного явления.

Для полноты картины мы посчитали нужным включить в нее краткий обзор об известных данных шаровой молнии: движение, появление и распад, оценка плотности энергии, температура и др.

Ключевые слова: линейная молния, шаровая молния, искровой разряд, углеводороды.

Keywords: linear lightning, fireball, spark category, hydrocarbons.

Введение

В представленной работе будет идти речь об одном из нераскрытых явлений природы — шаровой молнии. Шаровой молнией принято называть светящиеся образования, по форме напоминающие шар. Это явление возни-

кает иногда во время грозы в воздухе, чаще всего, вблизи поверхности. В отличие от обычной (линейной) молнии, шаровая не сопровождается громом, она практически бесшумна. С другой стороны, шаровая молния может существовать до нескольких минут, тогда как обычная молния характеризуется кратковременностью. Поведение

шаровой молнии является совершенно непредсказуемым. Абсолютно невозможно предсказать направление, в котором в следующее мгновение переместится светящийся шар и чем завершится его появление (взрывом или простым исчезновением).

Вопрос существования шаровых молний принципиально неопровержим. Вследствие этого, а также под давлением наличия множества очевидцев, в научных изданиях невозможно отрицать существование шаровых молний. Большой вклад в работу по наблюдению и описанию шаровой молнии внёс советский учёный И. П. Стаханов [13], который вместе с С. Л. Лопатниковым в журнале «Знание — сила» в 1970-х годах опубликовал статью о шаровых молниях. В конце этой статьи он приложил анкету и попросил очевидцев прислать ему свои подробные воспоминания этого явления. В результате он накопил обширную статистику — более тысячи случаев, что позволило ему обобщить некоторые свойства шаровой молнии и предложить свою теоретическую модель шаровой молнии.

Наблюдения шаровой молнии (ШМ) фиксируются на протяжении 300 лет. Существуют около 400 теорий, объясняющих явление, но ни одна из них не получила абсолютного признания в академической среде [2, 3, 4, 5]. Появляются и более обнадеживающие гипотезы, основанные на новых принципах [6].

В данной работе рассматриваются одни из важнейших экспериментов, проведенных в данной области — эксперименты Науэра по моделированию шаровой молнии (1950-е гг.). Мы посчитали важным повторить эти опыты и модернизировать их, стараясь получить новые сведения и уточнить старые с целью дальнейшего развития экспериментальной части изучения данного явления.

Гипотеза горения малой примеси углеводородов

Проведенные Науэром в 50-х годах прошлого столетия эксперименты [7] с целью моделирования шаровой молнии были достаточно плодотворными и положили начало новой гипотезе о строении шаровой молнии. Согласно этой гипотезе шаровая молния есть пламя горящих углеводородов, имеющих в атмосфере.

Науэр случайно обнаружил, что небольшие следы бензола, оставшиеся в стеклянной камере после ее очистки, при искровом иницировании приводят к образованию в камере больших светящихся облаков. Эксперименты проводились в закрытой камере диаметром 6–8 см и длиной 50–200 см. Между двумя электродами, помещенными внутрь камеры, зажигалась электрическая искра. Светящиеся облака появлялись после прекращения искрового разряда и существовали в течение нескольких секунд. Эти облака не заполняли весь объем камеры, а имели диаметр 2–3 см. Образование облаков становилось более вероятным, когда углеводород полностью перемешивался в замкнутом объеме воздуха. Было обнаружено, что конфигурация электродов, представ-

ленная на рис. 1, является наиболее эффективной. Оптимальными оказались железные электроды, слегка согнутые на концах и отстоящие друг от друга на расстоянии 5–10 мм. Система железных электродов помещалась в камеру, в которой можно было регулировать состав газа.

Науэр проводил эксперименты как при низких давлениях (40–200 торр), так и при атмосферном давлении. При низких давлениях светящиеся облака возникали при концентрации водорода 3,8–9%, концентрации пропана 1,24% и при значительно меньшем (практически неизмеримых) концентрациях бензола. Следует отметить, что доля газообразного горючего, необходимая для образования светящегося облака мала; похоже, что ее величина обратно пропорциональна молекулярному весу углеводорода. О величине энергии, диссипатируемой искрой, в оригинальной статье сказано несколько неопределенно. Если предположить, что напряжение 10^3 В, искра длительностью 1 мс и ток в несколько ампер, то можно прийти к выводу, что в газовой смеси, заключенной в камере, может быть рассеяно только ~ 10 Дж.

Науэр обнаружил, что светящиеся облака не подвержены влиянию внешних электрических и магнитных полей. Цвет облаков мог изменяться только за счет добавления примесных газов; при этом получались все цвета. Светящееся облако походило не столько на явление горения, сколько на электрический тлеющий разряд — казалось, мягкое свечение испускается с поверхности светящегося тела. Наблюдались также смеси цветов, однородные цвета, полоски и лоскуты. Водород давал бледно-голубое свечение, а при добавлении паров бензола или пропана возникало свечение, видимое даже в ярко освещенной комнате.

Светящиеся облака двигались в основном вверх, хотя наблюдалось также и движение вниз. Согласно измерениям, скорость движения находилась в пределах 0,33–10 м/с. При низком содержании примеси никакого шума от явления не отмечалось, однако при высоком уровне примеси был зарегистрирован небольшой шум. Облако рассеивалось, как правило, бесшумно, но временами с громким звуком, когда облако касалось стенки камеры.

Заслуживает внимания одна специфическая особенность. Камера была разделена плоским диском с центральным отверстием диаметром 7 мм, помещавшимся внутри камеры. Как правило, светящееся облако гасло, когда оно соприкасалось с диском. Однако в ряде случаев светящееся облако как будто проходило сквозь отверстие и восстанавливало размеры и форму, существовавшие ранее.

Науэр заключил, что существует определенная корреляция между естественной шаровой молнией и полученными в лабораторных условиях облаками, светящимися за счет возбуждения углеводородов при малой концентрации. Тем самым предполагалось, что природа шаровой молнии никак не связана с электричеством. Первоначальный электрический разряд требовался лишь

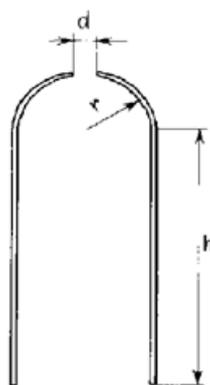


Рис. 1. Геометрия электрических электродов, использованных в экспериментальной установке. Радиус кривизны скругленных электродов $r=1$ см, расстояние между ними $d=0,5$ см, высота стержня над основанием вакуумной камеры $h=10$ см.

для иницирования процесса горения при малых концентрациях горючего, но в дальнейшем какая-либо электрическая активность уже не нужна. При горении возникают наблюдаемые светящиеся облака. Было также высказано предположение, что возможно, до разряда никаких углеводородов не требуется. При разряде происходит диссоциация паров воды и высвобождается водород, который затем и участвует в процессе горения. Насколько эти теоретические построения реализуются в природе — вопрос открытый и пока не получивший подтверждения.

Описание экспериментальной установки

Ниже описывается эксперимент согласно вышеуказанной цели. Для начала был повторен с максимальной точностью эксперимент Науэра, приведенный в [7]. Стальные электроды, конфигурация которых приведена на рис. 1, располагались внизу стеклянной камеры объемом 10 литров, так же в камере располагалась не большая ванночка с находящейся в ней электрической спиралью для испарения жидких углеводородов. Для введения в камеру газообразных углеводородов внизу ее располагалась трубка.

На электроды подавался ток напряжением 5 кВ от батареи конденсаторов, емкостью 1,22 мкФ, заряжаемой высоковольтным выпрямителем, изготовленным в лаборатории, разряд длительностью около 1 мс, диссипировал энергию порядка 10 Дж.

В камеру вводились малые концентрации различных газов стандартным методом вытеснения жидкости. Были проведены опыты с метаном, пропаном, водородом, парами бензола и бензина. Водород получался путем электролиза воды, проводимого здесь же.

Результаты эксперимента

Опыты проводились следующим образом: сначала вводились достаточно большие концентрации горящих газов, при этом, как и предполагалось, после иницирования разрядом, происходил процесс нормального горения.

Далее концентрация постепенно снижалась. При концентрации около 3% пропана в ряде случаев наблюдались светящиеся облака, формой близкой к сферической (рис. 2). Излучение было не сильным, поэтому шары могли наблюдаться только в затемненном помещении. Поверхность облака была окрашена равномерно в желтый цвет.

При дальнейшем уменьшении концентрации пропана (менее 1%) светящиеся облака не наблюдались.

Малые примеси остальных газов вели себя аналогичным образом, но при разных концентрациях и различной окраске. Иногда наблюдались, как и указывалось Науэром [7], шары с неоднородно окрашенной поверхностью. Опыты с водородом не дали никаких результатов, кроме явления нормального горения при высокой концентрации.

Шары исчезали бесшумно при соприкосновении с поверхностью камеры. Электрические и магнитные поля не оказывали никакого воздействия на светящиеся образования.

В дальнейшем была проверена гипотеза, согласно которой светящиеся облака могли быть следствием горения водорода, который высвобождается из воды при электрическом разряде. Для этого камера наполнялась паром при его различном давлении. Относительная влажность газа в камере измерялась с помощью гигрометра. После серии разрядов, светящиеся облака получить не удалось. Возможно, что энергии диссипатированной разрядом, было не достаточно для освобождения необходимого количества водорода. Поэтому для увеличения энергии разряда была применена батарея емкостью 5 мкФ, заряжаемой до напряжения 5 кВ. После дальнейшего проведения серии опытов с различным парциальным давлением пара к успеху не привели.

Последний результат имеет следующую теоретическую значимость. Так как естественное содержание углеводородов в воздухе атмосферы не превышает 10^{-5} – $10^{-3}\%$, а для горения малой примеси необходима концентрация хотя бы 1%, то выходит, что для образо-

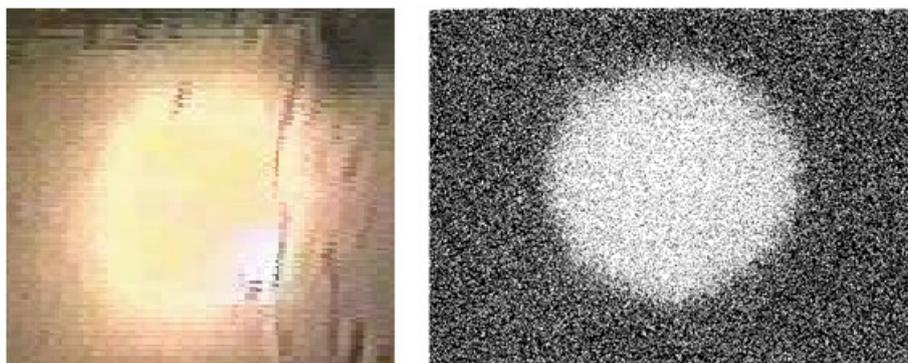


Рис. 2. Фотография длительного свечения, подобного шаровой молнии, которая возникает при локализованном горении малой примеси газообразных углеводородов в результате инициирования искровым разрядом

вания шаровой молнии необходимо свести все углеводороды, содержащиеся в сфере радиусом где-то 100 м [8, 9]. Именно эта проблема является решающей при «выносе вердикта» рассматриваемой гипотезе. Однако она могла бы стать теорией хотя бы определенного типа шаровой молнии, если подтвердилось бы предположение о том, что водород, необходимый для горения, образовывался при разряде линейной молнии. Подтвердить это экспериментально пока не удалось. Конечно, данная теория не объясняет всех свойств шаровой молнии, да и эксперимент в данном случае можно считать грубо приближенным, в основном из-за малой диссипатируемой энергии и, возможно недостаточного моделирования состава газа.

Выводы

В заключение, основываясь на известных сегодня данных, полученных с помощью наблюдений и тех немногих экспериментов, проведенных людьми, которым не безынтересно такое загадочное явление, мы можем сказать определенным образом, что шаровая молния ре-

ально существует. Как лабораторные эксперименты, так и наблюдения в контролируемых условиях подтверждают возможность появления долгоживущих свящихся образований, которые при некоторых их свойствах могут быть интерпретированы как шаровая молния.

В данной работе произведена попытка подтверждения гипотезы, согласно которой шаровая молния является следствием горения малой примеси углеводородов или водорода, который образуется путем восстановления водорода из воды, содержащейся в атмосфере, при разряде линейной молнии. Эксперименты, хотя и поставлены по ограниченной программе, несомненно, являются почвой для проведения дальнейшего исследования в этой области.

Конечно, результаты данной работы нельзя считать полным подтверждением или опровержением соответствующих гипотез. Однако думаю, ее можно считать определенным вкладом в исследуемую область. Я надеюсь, что эта работа послужит поддержкой для дальнейших исследований и экспериментов, связанных с возникновением, созданием и стабильностью рассмотренных явлений.

Литература:

1. Стаханов, И. П. О физической природе шаровой молнии. — М.: Энерго-атомиздат, 1985.
2. Durmard, J. — Nature, 1952, v. 169, p. 563.
3. Schonland, B. F. J. The Flight of Thunderbolts, — Oxford, 1950, p. 47.
4. Бенндорф, Г. Атмосферное электричество: Пер. с нем. — М.: ГИТТЛ, 1934, с. 51.
5. Сингер, С. Природа шаровой молнии. — М.: Мир, 1973.
6. Егоров, А. И., Степанов С. И., Шабанов Г. Д., Демонстрация шаровой молнии в лаборатории // УФН, № 174:1. 2004. с. 107–109
7. Барри Дж. Шаровая молния и четочная молния: Пер. с англ. — Под ред. Елецкого А. В. Москва: Мир, 1983. — 288 с.
8. Капица, П. Л. // ЖЭТФ, 1951, т. 21, вып. 5, с. 588–597.
9. Капица, П. Л. // ДАН СССР, 1955, т. 1, N 2, с. 245–248.

Газодинамика процесса истечения из резервуаров со сжатыми газами

Курбатов Евгений Сергеевич, магистрант
Санкт-Петербургский государственный университет

В данной статье рассматривается задача истечения сжатого природного газа из ёмкости с высоким давлением в газовую магистраль. В процессе расчетов учитываются два режима истечения — критического и докритического, а также рассматриваются две модели газа — идеального и реального.

Сжатый (компримированный) природный газ (КПГ) сегодня является альтернативой таким видам топлива как пропан, дизель и бензин. Более того, он имеет ряд преимуществ: меньшая токсичность, низкое содержание примесей и т.д. Транспортировка и хранение КПГ осуществляется в баллонах под давлением 25 Мпа при температуре окружающей среды. В случае транспортировки КПГ по воде применяются специальные CNG суда.

Рассматривается задача истечения газа из баллона с давлением $p_0 = 25$ Мпа и объемом $V = 28.872$ м³ в газовую магистраль с постоянным давлением $p_2 = 6.0795$ Мпа. Истечение происходит через сопло с площадью поперечного сечения $f = 0.000785$ м². При уменьшении давления в баллоне будет наблюдаться сильное понижение температуры внутри самого баллона, следовательно, и его стенок. Стоит задача в нахождении параметров газа: давления, температуры и плотности внутри баллона на всем процессе истечения, а так же самого времени процесса. Рассматриваются две модели газа: идеального и реального.

Сам процесс делится на два режима:

1. Критический. Скорость газового потока эквивалентна скорости звука. Параметры массового расхода G и скорости потока W газа не зависят от параметра давления β .

2. Докритический. Скорость газового потока начинает уменьшаться вплоть до нуля (окончания процесса). Параметры G и W имеют зависимость от параметра β .

Параметр давления β находится следующим образом:

$$\beta = \frac{\text{давление, куда газ вытекает}}{\text{давление, откуда газ истекает}}$$

$$\beta_{\text{крит}} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Далее следует указать значение $\beta_{\text{крит}}$. Как известно из газодинамики:

где k — показатель адиабаты.

Теперь мы можем определить, в каком режиме находится процесс в данный момент времени. Если параметр β принимает значение:

$[0; \beta_{\text{крит}}]$, то режим истечения критический;

$[\beta_{\text{крит}}; 1]$, то режим истечения докритический.

Для получения параметров давления p , температуры T и плотности ρ газа используется система из трех уравнений:

$$\begin{cases} V \frac{d\rho}{dt} = -G & \text{уравнение баланса массы;} \\ V \frac{d(\rho u)}{dt} = -Gh & \text{уравнение энергии;} \\ f(p, \rho, T) = 0 & \text{уравнение состояния.} \end{cases} \quad (1)$$

где h — удельная энтальпия вытекающего газа.

В данной системе, в зависимости от режима, значение массового расхода принимает следующие значения:

Критический режим:

$$G = c_d F \sqrt{k p \rho} \sqrt{\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}};$$

Докритический режим:

$$G = c_d F \sqrt{\frac{2k}{k-1}} p \rho \left(\frac{p(t_2)}{p} \right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1 - \left(\frac{p(t_2)}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}}},$$

где c_d — коэффициент расхода, который учитывает гидравлические потери потока при выходе из сопла; t_2 — время окончания процесса.

В задаче рассматриваются две модели газа: идеального и реального. В зависимости от выбранной модели газа в системе (1) уравнением состояния является:

Уравнение Менделеева-Клапейрона, для случая идеального газа;

$$p = \rho R T$$

где R — газовая постоянная;

Уравнение Редлиха-Квонга, для случая реального газа:

$$p = R \frac{\rho T}{1 - b\rho} - \frac{a\rho}{(1 + b\rho)\sqrt{T}}$$

где a, b — постоянные Редлиха — Квонга.

Расчеты проводились численным методом в программе MATLAB. Использовался классический метод Рунге — Кутты четвертого порядка. На рис. 1 (модель идеального газа) и рис. 2 (модель реального газа) представлены ре-

зультаты для параметров давления, температуры и плотности газа. Вертикальная черта на графиках указывает границу перехода от критического режима в докритический.

Итак, по результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

- Время истечения реального газа из баллона составило 194 с.
- Максимально низкая температура в баллоне составляет 215 К и приходится на конец процесса истечения;
- Разница по времени истечения для реального и идеального газа составляет 31 секунду для данной задачи.

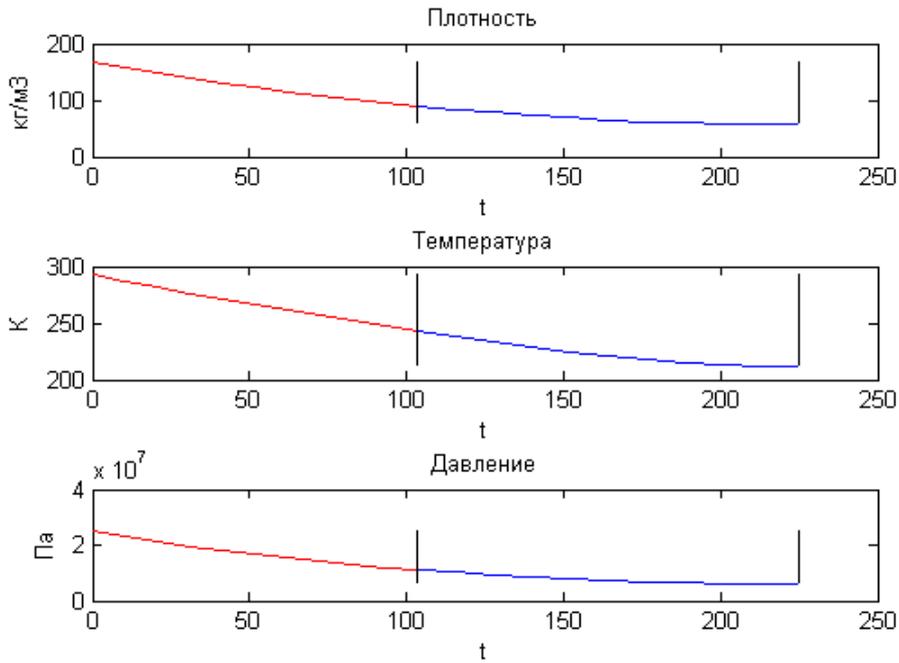


Рис. 1. Параметры идеального газа в баллоне при истечении

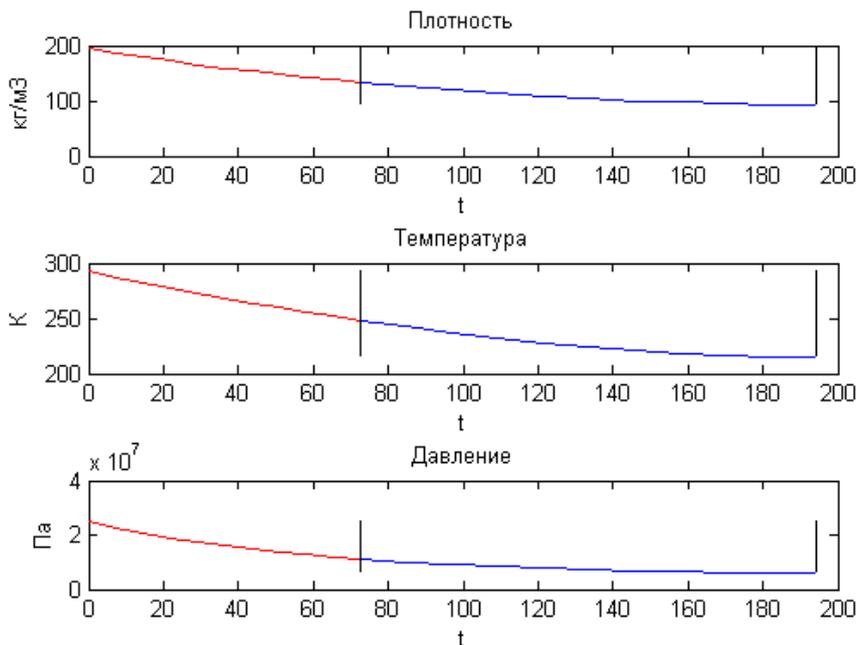


Рис. 2. Параметры реального газа в баллоне при истечении

Литература:

1. Павловский, В.А. Введение в термодинамику реальных газов: Монография ФГУП «Крыловский государственный научный центр». СПб., 2013. 230 с.: ил.
2. Гинзбург, И.П. Прикладная гидрогазодинамика. Л.: Издательство ЛГУ. 1958. — 311 с.
3. Павловский, В.А., Чистов А.Л. «Моделирование динамики заполнения резервуара реальным газом», СПб., 2013.
4. Вулис, Л.А. Теория газовых потоков. М. — Л.: Госэнергоиздат. 1950. — 304 с.

Математическая модель синтеза газогидрата в пористой среде при инжекции газа

Хасанов Марат Камилович, кандидат физико-математических наук, доцент
Башкирский государственный университет, Стерлитамакский филиал

Решена задача об образовании газогидрата в природном пласте, насыщенном газом и водой, в результате нагнетания газа. Получены численные решения плоскоодномерной задачи, описывающие распределения основных параметров в пласте. Исследовано влияние проницаемости пласта, а также давления нагнетаемого газа на особенности протекания процесса. Показано, что в зависимости от параметров нагнетаемого газа образование газогидрата может происходить как на фронтальной поверхности, так и в протяженной области.

Ключевые слова: газогидраты, пористая среда, фильтрация, гидратообразование.

Многие технологические процессы в нефтегазовой отрасли сопровождаются образованием и отложением газовых гидратов, как в пласте, так и в системах подземного и наземного оборудования нефтяных и газовых месторождений [1]. В настоящее время в большинстве случаев гидратообразование носит чаще негативный характер, связанный с аварийными остановками из-за «склероза» установок и последующими затратами на устранение таких осложнений. Однако процессы гидратообразования могут иметь и положительный аспект, например, использованы для увеличения емкости подземных резервуаров для хранения углеводородного газа [2]. Такая возможность обусловлена резким ростом массового содержания газа в газогидратном состоянии в единице объема по сравнению со свободным состоянием при той же температуре и давлении [3].

В данной работе в плоскоодномерном приближении рассматриваются некоторые особенности образования гидрата при нагнетании газа в пористый пласт, заполненный в исходном состоянии газом и водой.

1. Постановка задачи

Пусть полубесконечный пористый пласт в начальный момент времени насыщен газом и водой, давление и температура которых в исходном состоянии соответствуют термодинамическим условиям существования их в свободном состоянии. Положим, что через границу пласта закачивается такой же газ, причем его давление и температура соответствуют условиям образования газогидрата и поддерживаются на границе области постоянными. При постановке данной задачи будем полагать, что в результате закачки газа от границы в глубь пласта начинает распространяться фронтальная поверхность образования гидрата, разделяющая пласт на две области. В первой области, находящейся вблизи границы пласта, вода полностью перешла в газогидратное состояние, поэтому в порах присутствуют только газ и газогидрат, а во второй (дальней) области поры заполнены газом и водой. Таким образом, согласно данной модели полагается, что образование газогидрата полностью происходит на фронтальной границе между этими двумя зонами.

2. Основные уравнения

При описании происходящих процессов тепломассопереноса примем следующие допущения: скелет пористой среды, газогидрат и вода несжимаемы и неподвижны, пористость постоянна, температура пористой среды и насыщающего вещества (газа, гидрата или воды) совпадают. Гидрат является двухкомпонентной системой с массовой концентрацией газа g .

В рамках принятых допущений уравнение сохранения массы газа имеет вид:

$$mS_{g(i)} \frac{\partial \rho_{g(i)}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (mS_{g(i)} \rho_{g(i)} v_{g(i)}) = 0, \quad (1)$$

где m — пористость, $S_{g(i)}$ — газонасыщенность. Здесь и далее нижние индексы sk, h, l, g относятся к скелету, гидрату, воде и газу соответственно; параметры первой и второй областей будут снабжены нижними индексами в скобках $i = 1, 2$.

В качестве закона фильтрации газа примем закон Дарси:

$$mS_{g(i)} v_{g(i)} = - \frac{k_{(i)}}{\mu_g} \frac{\partial p_{(i)}}{\partial x}, \quad (2)$$

где $k_{(i)}$ — коэффициент проницаемости для газа, μ_g — динамическая вязкость газа.

Зависимость коэффициента проницаемости для газа от газонасыщенности зададим на основе формулы Козени:

$$k_{(i)} = k_* \frac{(mS_{g(i)})^3}{(1 - mS_{g(i)})^2} \approx k_0 S_{g(i)}^3 \quad (k_0 = k_* m^3).$$

Газ будем считать калорически совершенным:

$$p_{(i)} = \rho_{g(i)} R_g T_{(i)}. \quad (3)$$

Уравнение притока тепла, пренебрегая баротермическим эффектом, запишем в виде:

$$\rho c \frac{\partial T_{(i)}}{\partial t} + \rho_{g(i)} c_g m S_{g(i)} v_{g(i)} \frac{\partial T_{(i)}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T_{(i)}}{\partial x} \right), \quad (4)$$

Здесь ρc и λ — удельная объемная теплоемкость и коэффициент теплопроводности системы. Поскольку в значении ρc и λ основной вклад вносят параметры скелета пористой среды, то во всем пласте будем полагать их постоянными.

Данные уравнения необходимо дополнить условиями баланса массы и тепла на границе фазового перехода ($x = x_{(s)}$) [4]:

$$\begin{aligned} mS_{h(1)} \rho_h (1 - g) \dot{x}_{(s)} &= mS_{l0} \rho_l \dot{x}_{(s)} \\ mS_{g(2)} \rho_{g(s)}^0 (v_{g(2)} - \dot{x}_{(s)}) + mS_{h(1)} \rho_h g \dot{x}_{(s)} &= mS_{g(1)} \rho_{g(s)}^0 (v_{g(1)} - \dot{x}_{(s)}), \\ \lambda \frac{\partial T_{(1)}}{\partial x} - \lambda \frac{\partial T_{(2)}}{\partial x} &= mS_{h(1)} \rho_h l \dot{x}_{(s)}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $S_{h(1)}$ — гидратонасыщенность первой области, S_{l0} — начальная водонасыщенность, l — удельная теплота гидратообразования, $\dot{x}_{(s)}$ — скорость движения границы фазового перехода (нижний индекс s в скобках относится к параметрам на границе гидратообразования).

На границе между областями для температуры и давления выполняется условие фазового равновесия [5]:

$$T_{(s)} = T_0 + T_* \ln \left(\frac{p_{(s)}}{p_{s0}} \right),$$

где T_0 — исходная температура системы, p_{s0} — равновесное давление, соответствующее исходной температуре, T_* — эмпирический параметр, зависящий от вида газогидрата.

Будем полагать, что в начальный момент времени в пористой среде давление p_0 и температура T_0 во всех точках пласта одинаковы, причем $p_0 < p_{s0}$. Эти два условия запишем в виде:

$$p_{(2)} = p_0, \quad T_{(2)} = T_0 \quad (t = 0, \quad x \geq 0).$$

На границе гидратообразования потребуем условие непрерывности давления и температуры:

$$p_{(1)} = p_{(2)} = p_{(s)}, \quad T_{(1)} = T_{(2)} = T_{(s)} \quad (x = x_{(s)}).$$

Условия на границе пласта запишем в виде:

$$T_{(1)} = T_e, \quad p_{(1)} = p_e \quad (t > 0, \quad x = 0).$$

3. Результаты численных расчетов

Сформулированная выше задача является автомодельной. Введем автомодельную переменную $\xi = x/\sqrt{\kappa^{(T)}t}$, где $\kappa^{(T)} = \frac{\lambda}{\rho c}$ — коэффициент температуропроводности.

Тогда в автомодельных переменных можно получить решения, описывающие распределение температуры и давление в пласте.

На рис. 1, а представлены распределение температуры и давления при нагнетании метана под давлением $p_e = 5$ МПа с температурой $T_e = 278$ К в пласт с начальным давлением и исходной водонасыщенностью $S_{i0} = 0,2$. Для остальных параметров, характеризующих систему, приняты следующие значения: $m = 0,1$, $g = 0,12$, $T_0 = 280$ К, $T_* = 10$ К, $p_{s0} = 5,5$ МПа, $k_0 = 10^{-14} \text{ м}^2$, $\rho_h = 900 \text{ кг/м}^3$, $\rho_l = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $l = 5 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$, $\rho c = 2,5 \cdot 10^6 \text{ (Дж/К} \cdot \text{м}^3)$, $\mu_g = 10^{-5} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$, $c_g = 1560 \text{ Дж/(К} \cdot \text{кг)}$. Пунктирная линия 2 показывает равновесную температуру, соответствующую полученному распределению давления.

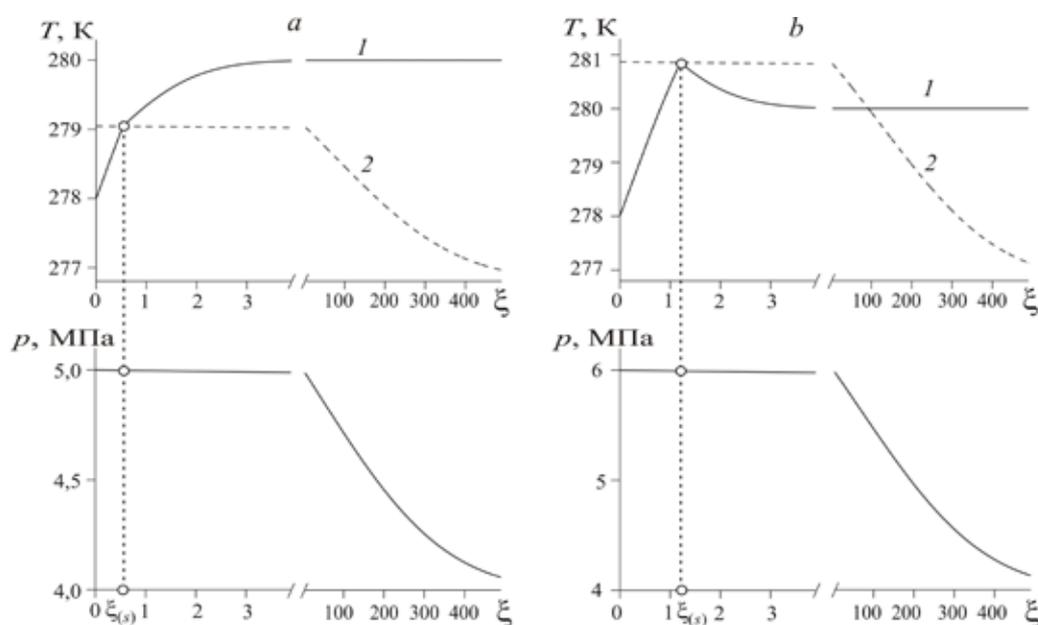


Рис. 1. Распределение температуры пласта (1), равновесной температуры (2) и давления: а — непротиворечивый случай, $p_e = 5$ МПа, $T_e = 278$ К; б — случай переохладения воды за фронтом, $p_e = 6$ МПа, $T_e = 278$ К.

Из данного рисунка видно, что температура пласта перед фронтом гидратообразования ниже равновесной температуры, а за фронтом — выше этой температуры. Следовательно, в этом случае решение с фронтальной поверхностью образования гидрата является непротиворечивым.

На рис. 1, б приведены распределение температуры и давления при нагнетании метана под давлением $p_e = 6$ МПа с температурой $T_e = 278$ К. В соответствии с рисунком температура пласта за фронтом гидратообразования опускается ниже равновесной температуры (пунктирная линия 2), что соответствует переохладению воды в этой области. Следовательно, в этом случае модель с фронтальной поверхностью образования гидрата не позволяет построить физически непротиворечивое решение.

По результатам численных расчетов можно сделать вывод о том, что возможны два принципиально различных вида решения в зависимости от параметров нагнетаемого газа. Также при различных значениях параметров, характеризующих систему, для величины давления, под которым нагнетается газ, существует некоторое максимальное значение, зависящее от проницаемости и исходной температуры, при превышении которого невозможно в рамках данной модели построить непротиворечивое решение. Для значений проницаемости, характерных для реальных пластов $k = 10^{-12} - 10^{-15} \text{ м}^2$, величина этого предельного давления с высокой степенью точности совпадает с величиной равновесного давления p_{s0} , соответствующего исходной температуре. Следовательно, модель с фронтальной поверхностью образования гидрата физически непротиворечиво описывает процесс только в случае закачки газа под давлением, не превышающим величину равновесного давления, соответствующего исходной температуре.

Литература:

1. Шагапов, В. Ш., Хасанов М. К., Мусакаев Н. Г. Образование газогидрата в пористом резервуаре, частично насыщенном водой, при инъекции холодного газа // Прикладная механика и техническая физика. — 2008. — Т. 49, №3. — с. 462–472.
2. Хасанов, М. К., Столповский М. В., Кильдибаева С. Р. Численное моделирование образования газогидрата в пористой среде при инъекции газа // Вестник Башкирского университета. — 2013. — Т. 18. №4. — с. 969–972.
3. Шагапов, В. Ш., Хасанов М. К., Гималтдинов И. К., Столповский М. В. Численное моделирование образования газогидрата в пористой среде конечной протяженности при продувке газом // Прикладная механика и техническая физика. — 2011. — Т. 52, №4. — с. 116–126.
4. Шагапов, В. Ш., Хасанов М. К., Гималтдинов И. К., Столповский М. В. Особенности разложения газовых гидратов в пористых средах при нагнетании теплого газа // Теплофизика и аэромеханика. — 2013. — Т. 20, №3. — с. 347–354
5. Гималтдинов, И. К., Мусакаев Н. Г., Хасанов М. К., Столповский М. В. Особенности разложения газовых гидратов при тепловом и депрессионном воздействиях в пластах конечной протяженности // Вестник Тюменского государственного университета. — 2011. — №7. — с. 6–13.

ХИМИЯ

Эффективность использования электрохимической активированной воды в процессе разведения восковой моли в биолaborаториях

Турсунов Музаффар Мурадjon угли, студент;
Наманходжаев Анваржон Нематжонович, студент;
Абдуллаев Мурадjon Турсунович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Наманганский инженерно-педагогический институт (Узбекистан)

Хаитов Баходир Абдулбориевич, магистр
Наманганский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

В статье приведено технология разработки выкормки восковой моли и выращивания на её основе габробракона, а также эффективность использования электрохимической активированной воды в процессе разведения восковой моли в биолaborаториях.

Ключевые слова: хлопководства, биологический метод, габробракон, восковой мол, электрохимической активированной вода, гусеницы хлопковой совки, электролизёр, диафрагма.

Одной из причин снижения урожайности сельскохозяйственных культур является деятельность вредителей. В связи с этим их защита от вредителей является актуальной задачей. Важность этой проблемы подтверждается Законом «О защите сельскохозяйственных культур от вредителей и сорняков» Олий Мажлиса Республики Узбекистан от 31 августа 2000 года. В хлопководстве, как и в других отраслях сельского хозяйства, защита от вредителей является важнейшей задачей. В борьбе против вредителей широко используются химические, физико-механические и биологические методы, которые различаются между собой областью применения, ценой, эффективностью и влиянием на окружающую среду. Исходя из этого, предложена технология выкормки восковой моли с помощью электрохимически активированной воды, выращивания на его основе габробракона и практическое внедрение разработанной технологии. Биологический метод считается эффективным с экономической и экологической точки зрения.

В связи с этим в нашем институте (НамИПИ) организовали «Научно-производственную лабораторию», где провели научные исследования по разведению габробракона на основе новой технологии по использованию против гусеницы хлопковой совки и его апробации на полях.

В исследованиях по разведению габробракона в качестве корма использовали гусеницу восковой моли, в процессе кормления которой использовали электрохимически активированную воду.

Результаты исследований, проведенных в нашей республике и другой страны показали, что в шелководстве, в других отраслях сельского хозяйства были достигнуты положительные результаты благодаря использованию электрохимически активированной воды [1].

Технология получения электрохимически активированной воды очень простая. Для этого необходимо подвергнуть электролизу обыкновенную воду через диафрагмальную электролизёр. Диафрагма предотвращает смешивание растворов, образовавшихся вокруг электродов.

На практике бы доказано, что при действии на воду постоянного тока определенного напряжения, изменяются некоторые физико-химические свойства, в том числе показатель водорода в воде, окислительно-восстановительный потенциал, вязкость, поверхностное натяжение воды.

Процесс электрохимического активирования сырой воды схематически можно показать следующим образом (рисунок 1).

Электрохимически активированную воду в основном использовали для разведения гусеницы восковой моли. В комнате, где проводились опыты по разведению восковой моли температура — 30–35°C, влажность — 80–85%. В качестве корма кукурузная мука, мерва, молоко, сахар, пшеничная мука второго сорта, макарон, хлопковое масло. Действующий способ показывает, что восковая моль подкармливают до II возраста в трехлитровой банке. После меняют вид корма и продолжают

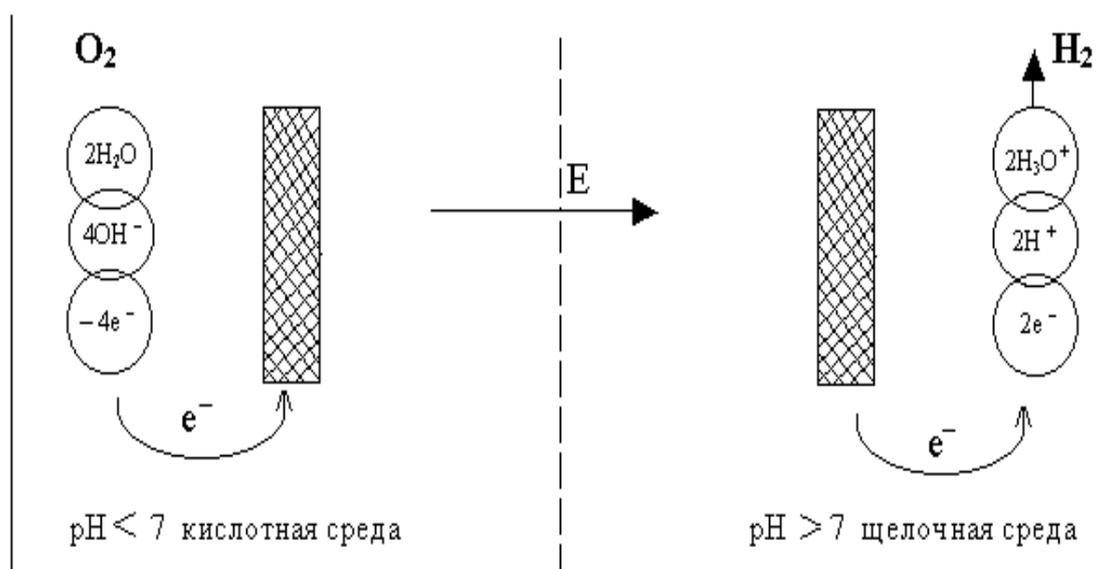


Рис. 1. Схема электрохимического активирования воды

выращивать при температуре 30–35°C, при влажности 75–80%.

Этот процесс в зависимости от температуры длится 15–20 дней. Во время ухода за насекомыми необходимо ежедневное кормление. Гусениц в основном содержат в ваннах тазах в течении 15–20 дней, подкармливают определенным количеством корма, а затем увлажняют. Через 10–15 дней корм, который находится в тазах теряет свою свежесть и твердеет. Чрезмерное увлажнение приводит к тому, что корм заплеснет и это отрицательно сказывается на качестве выращиваемых гусениц.

Во избежание вышеуказанных недостатков, мы начиная с 10-ого дня производим увлажнение не обычной, а электрохимической активированной водой (pH=8, 9).

Для этого в пятилитровый таз были помещены 1000 гусениц в среднем II возраста и кормили известным способом [2].

Опыт провели на основе 3-х вариантов в трехкратной повторности. В 1 варианте увлажнение проводилось на основе обыкновенной воды, во 2 варианте электрохимической активированной воды (pH=8) и в 3 варианте электрохимических активированной воды (pH=9). Как показали результаты исследований из трёх опытов наиболее эффективным с экономической и экологической точки зрения является — 2 вариант в котором численность восковой моли встречается максимальном количестве (Таблица 1).

По данным таблицы видно то, что увлажнение корма в ваннах тазах электрохимической активированной водой увеличивает количество зрелых гусениц в отличие от традиционного способа.

Конечно, увеличение количества гусениц даёт возможность приумножить количество габробракона, получае-

Таблица 1. Результаты опытов при взрослении гусениц в процессе откормки электрохимической увлажненной активированной водой

№	Варианты опыта	Количество гусеницы II возраста, штук	Объем воды, использованный для увлажнения одного раза, мл	Среднее количество собранных взрослых гусениц, штук										Общее количество гусениц, штук
				Дни										
				11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1.	Обычная вода	1000	60	65,2	68,0	52,1	45,3	42,3	31,2	24,1	12,6	5,2	2,3	348,3
2.	Электрохимическая активированной вода (pH=8)	1000	60	68,3	76,2	64,0	51,1	46,3	40,4	30,1	21,3	14,1	7,2	419
3.	Электрохимическая активированной вода (pH=9)	1000	60	66,3	72,2	61,7	46,2	41,2	36,4	28,2	17,8	12,1	14,1	396,2

мого от них или разводить повторно гусениц и повышает продуктивность производства.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Использование электрохимической активированной воды (рН=8) в разведении гусениц восковой моли увеличивает эффективность производства:

2. Использование 50–60 мл электрохимических активированной водой даст хороший результат, если их поместить в тазах через 10 дней, когда затвердеет и зачерствеет корм. Основной причиной увеличения количества гусениц при использовании электрохимических активированной воды можно объяснить её высокой потенциальной энергией в отличие от обыкновенной воды и аппетитности корма в щелочной среде.

Литература:

1. Залепухин, И. Д., Пасько О. А., Аксенова Э. А. Применение активированной воды в сельском хозяйстве и биотехнологии. — Томск. «Наука и производства». 1998.
2. Алимухаммедов, С. и др. Биологическая защита. Ташкент. «Мехнат». 1989.

Математическое моделирование низкотемпературных свойств синтезированной депрессорной присадки на дизельное топливо

Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук, доцент;
 Бердиева Зульфия Мухиддиновна, преподаватель;
 Рузиева Комила Эрназаровна, преподаватель;
 Киёмов Шавкат Фазлиевич, преподаватель;
 Норова Мавлуда Сайфидиновна, преподаватель
 Бухарский инженерно-технологический институт (Узбекистан)

Развитие топливно-энергетического комплекса любого государства определяется ежегодным ростом потребности в дизельных и моторных топливах. Наиболее экономически выгодным способом улучшения низкотемпературных свойств топлив является применение депрессорных присадок.

В данное время, к сожалению, депрессорная присадка не производится в Узбекистане. В связи с этим нами была синтезирована и исследована эффективная импортозамещающая депрессорная присадка, на основе отходов Шуртанского газохимического комплекса, низкомолекулярного полиэтилена и гидролизованного полиакрилонитрила [1]. При многочисленных исследованиях влияния концентрации синтезированной присадки на температуру застывания дизельного топлива был получен ряд статистических данных. Интерес представляла математическая модель полученной зависимости (рис.), во избежание проведения множества аналогичных экспериментов, проводимых на специализированном оборудовании и требующих затрат времени и расходных материалов.

Для построения модели связи между этими двумя параметрами применен метод корреляционно-регрессионного анализа.

В общем виде модель представляется в виде:

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n$$

где: x — переменные;

a_0 — постоянная величина результативного показателя, которая не связана с изменением данного фактора. Она показывает среднее изменение результативного показателя с повышением или понижением величины фактора на единицу его измерения;

a_1, a_2, \dots, a_n — коэффициенты уравнения, которые показывают количественное воздействие фактора на результативный показатель при неизменности других.

Из анализа рис. 1 видно, что при увеличении одного показателя, значения другого уменьшаются довольно резко, затем более полого. Для определения такой зависимости лучше всего подходит криволинейная модель.

Стандартные компьютерные программы обработки регрессионного анализа позволяют перебирать различные функции и выбрать ту из них, для которой остаточная дисперсия и ошибка аппроксимации минимальны, а коэффициент детерминации максимален. Для расчетов нами была использована программа MS Excel.

Показано, что наиболее точной моделью, описывающую данную зависимость имеют вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2^2 + a_3x_3^3 + a_4x_4^4$$

где: y — температура застывания дизельного топлива;

x — концентрация присадки;

a_0 — температура застывания дизельного топлива, равная минус 12°С.

Результаты расчетов регрессионной статистики и коэффициентов модели с помощью программы MS Excel приведены в табл. 1. и 2.

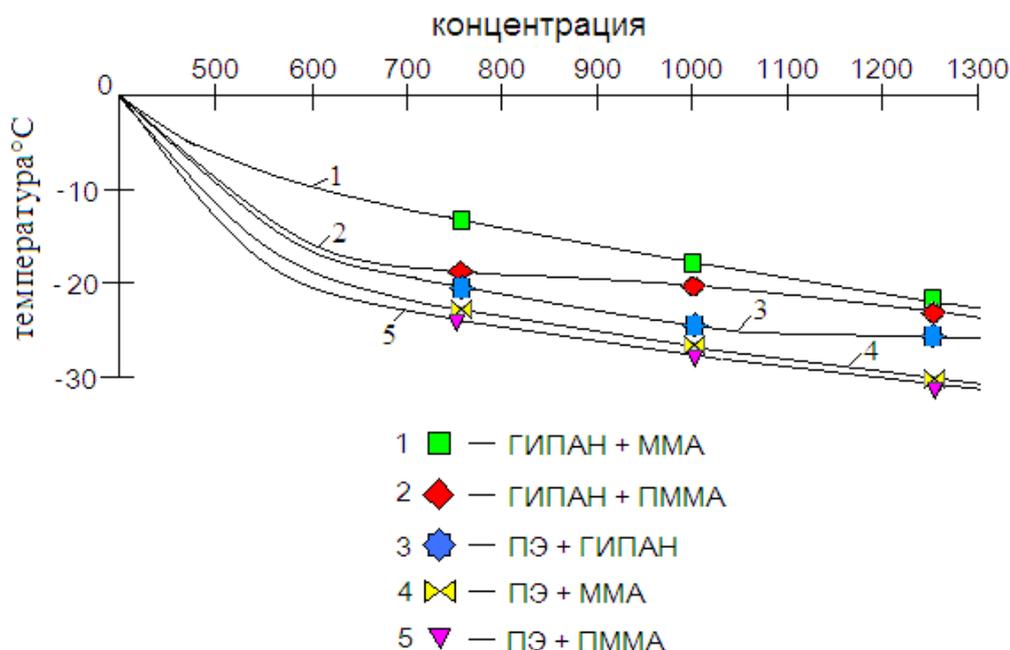


Рис. 1. Зависимость температуры застывания дизельного топлива от концентрации депрессорной присадки

Таблица 1. Результаты регрессионной статистики модели

Наименование коэффициента	Значение				
	ГИПАН — ММА	ГИПАН — ПММА	ПЭ — ГИПАН	ПЭ — ММА	ПЭ — ПММА
множественный R	0,972597525	0,998082759	0,995793883	0,974774644	0,974774644
R-квадрат	0,945945946	0,996169194	0,991605456	0,05018607	0,950185607
нормированный R-квадрат	0,932432432	0,995211492	0,989506821	0,93773008	0,937732008
стандартная ошибка	0,097259753	0,025891911	0,038328124	0,093367654	0,093367654
Наблюдения	6	6	6	6	6

Таблица 2. Результаты расчета коэффициентов модели

Наименование коэффициента	Значение коэффициента				
	ГИПАН — ММА	ГИПАН — ПММА	ПЭ — ГИПАН	ПЭ — ММА	ПЭ — ПММА
y-пересечение	-1,58108108	-1,57430167	-1,2298006	-1,1290863	-1,1290863
переменная x_1	-0,094594595	-0,08826815	-0,066107	-0,05783738	-0,05783738
переменная x_2	0,383509557	-0,3578609	0,039216	0,06340153	0,06340153
переменная x_3	-0,64648390	-0,603247907	-0,66106044	-0,106876271	-0,106876271
переменная x_4	0,349850831	0,326453267	0,035773906	0,057837097	0,057837097

Полученная модель связи описывается уравнением регрессии:

$$y = -1,58108108 - 0,094594595 \cdot x + 0,383509557 \cdot x^2 - 0,64648390 \cdot x^3 + 0,349850831 \cdot x^4$$

Таким образом, полученные экспериментальные данные дают возможность считать, что синтезированные нами присадки работают в ДТ по единому принципу. Суть этого принципа состоит в повышении стабильности ДТ.

Литература:

- С. Ф. Фозилов, О. Б. Ахмедова, Ш. Б. Мавлонов, Ш. М. Сайдахмедов, Б. Н. Хамидов. Синтез и исследование свойств депрессорных присадок на основе гетероциклических эфиров полиметакриловых кислот. *Узбекский журнал нефти и газа*. — Т.: 2010. — № 4, — с. 41–42.

2. Фозилов, С. Ф., Хожиев Р, Шарипов Ж. О., Фармонов Х. Математическое моделирование композиционной депрессорной присадки добавляемого к дизельного топливу. Актуальные проблемы химической технологии. Материалы республиканской научно-практической конференции Бухара –2014 с. 165–167.
3. Фозилов, С. Ф. Сайдахмедов Ш. М, Мавлонов. Б. А, Хамидов Б. Н, Получение привитых сополимеров на основе низкомолекулярного полиэтилена и гипана и их применение в качестве депрессорных присадок для дизельных топлив. Химия и химическая технология научно-технический журнал. 2012. №3. с. 46–49.
4. Фозилов, С. Ф Моделирование зависимости температуры застывания дизельного топлива от концентрации композиционной полимерной депрессорной присадки. Материалы международной научно-технической конференции «ресурсо- и энергосберегающие, экологически безвредные композиционные материалы». Тошкент–2013. с. 160–162.

ИНФОРМАТИКА

Реализация алгоритма RC4 на CBuilder

Shihab Dhafer Taha, Master student;
Rashied Laith Talab, Master student
Diyala university, Iraq

Я хотел бы выразить искреннюю признательность Министерству высшего образования и научных исследований Ирака, предоставившему мне стипендию в дополнение к финансовой и моральной поддержке и позволившему мне провести свои научные исследования.

I would like to express my sincere gratitude to Ministry of higher education and scientific research Iraqi for valuable guidance. That provided me this scholarship in addition to the financial and moral support in order to complete my studies.

Введение

Целью данной работы является изучение алгоритма RC4, рассмотрение его слабых и сильных сторон, определение в каких продуктах и каким образом он используется, а так же программная реализация на языке C++, с использованием программного обеспечения Borland C++ Builder 6.

RC4 (англ. Rivest Cipher 4 или англ. Ron's Code, также известен как ARCFOUR или ARC4 (англ. Alleged RC4)) — это потоковый шифр, широко применяющийся в различных системах защиты информации в компьютерных сетях (например, в протоколах SSL и TLS, алгоритме безопасности беспроводных сетей WEP, для шифрования паролей в Windows NT).

Шифр разработан компанией RSA Security и для его использования требуется лицензия.

Алгоритм RC4 строится, как и любой потоковый шифр на основе параметризованного ключом генератора псевдослучайных битов с равномерным распределением. Длина ключа обычно составляет от 5 до 64 байт. Максимальная длина ключа 256 байт.

Основные преимущества шифра — высокая скорость работы и переменный размер ключа. RC4 довольно уязвим, если используются не случайные или связанные ключи, один ключевой поток используется дважды. Эти факторы, а также способ использования могут сделать криптосистему небезопасной (например, WEP).

История

Потоковый шифр RC4 был создан Роном Ривестом из RSA Security в 1987 году. Хотя официально сокра-

щение обозначает Rivest Cipher 4, его часто считают сокращением от Ron's Code.

Шифр являлся коммерческой тайной, но в сентябре 1994 года его описание было анонимно отправлено в рассылку Cypherpunks. Вскоре описание RC4 было опубликовано в ньюс-группе sci.crypt. Именно оттуда исходный код попал на множество сайтов в сети Интернет. Опубликованный шифр давал те же шифротексты на выходе, какие давал подлинный RC4. По-видимому, данный текст был получен в результате анализа исполняемого кода. Опубликованный шифр совместим с имеющимися продуктами, использующими RC4, а некоторые участники телеконференции, имевшие, по их словам, доступ к исходному коду RC4, подтвердили идентичность алгоритмов при различиях в обозначениях и структуре программы.

Поскольку данный алгоритм известен, он более не является коммерческой тайной. Однако, название «RC4» является торговой маркой компании RSA. Поэтому иногда шифр называют «ARCFOUR» или «ARC4» (имея ввиду Alleged RC4 — предполагаемый RC4, поскольку RSA официально не опубликовала алгоритм), чтобы избежать возможных претензий со стороны владельца торговой марки.

Шифр RC4 применяется в некоторых широко распространённых стандартах и протоколах шифрования таких, как WEP, WPA и TLS.

Главными факторами, способствовавшими широкому применению RC4, были простота его аппаратной и программной реализации, а также высокая скорость работы алгоритма в обоих случаях.

В США длина ключа для использования внутри страны рекомендуется равной 128 битов, но соглашение, заключённое между Software Publishers Association (SPA)

и правительством США даёт RC4 специальный статус, который означает, что разрешено экспортировать шифры длиной ключа до 40 бит. 56-битные ключи разрешено использовать заграничным отделениям американских компаний.

Описание алгоритма

Ядро алгоритма состоит из функции генерации ключевого потока. Эта функция генерирует последовательность битов (k_i), которая затем объединяется с открытым текстом (m_i) посредством суммирования по модулю два. Так получается шифрограмма (c_i):

$$c_i = m_i \oplus k_i.$$

Расшифровка заключается в регенерации этого ключевого потока (k_i) и сложении его и шифрограммы (c_i) по модулю два. В силу свойств суммирования по модулю два на выходе мы получим исходный незашифрованный текст (m_i):

$$m_i = c_i \oplus k_i = (m_i \oplus k_i) \oplus k_i.$$

Другая главная часть алгоритма — функция инициализации, которая использует ключ переменной длины для создания начального состояния генератора ключевого потока.

RC4 — фактически класс алгоритмов, определяемых размером его блока. Этот параметр n является размером слова для алгоритма. Обычно, $n = 8$, но в целях анализа можно уменьшить его. Однако для повышения безопасности необходимо увеличить эту величину. Внутреннее состояние RC4 представляется в виде массива слов размером $2n$ и двух счетчиков, каждый размером в одно слово. Массив известен как S-бокс, и далее будет обозначаться как S . Он всегда содержит перестановку $2n$ возможных значений слова. Два счетчика обозначены через i и j .

Алгоритм инициализации RC4 приведен ниже. Этот алгоритм также называется алгоритмом ключевого расписания (Key-Scheduling Algorithm or KSA). Этот алгоритм использует ключ, сохраненный в Key , и имеющий длину l байт. Инициализация начинается с заполнения массива S , далее этот массив перемешивается путем перестановок определяемых ключом. Так как только одно действие вы-

полняется над S , то должно выполняться утверждение, что S всегда содержит все значения кодового слова.

Начальное заполнение массива:

```
for i = 0 to 2n - 1
```

```
  S[i] = i
```

Скремблирование:

```
  j = 0
```

```
  for i = 0 to 2n - 1
```

```
    j = (j + S[i] + Key[i mod l]) mod 2n
```

```
    Перестановка (S[i], S[j])
```

Генератор ключевого потока RC4 переставляет значения, хранящиеся в S , и каждый раз выбирает различное значение из S в качестве результата. В одном цикле RC4 определяется одно n -битное слово K из ключевого потока, которое в последующем суммируется с исходным текстом для получения зашифрованного текста. Эта часть алгоритма называется генератором псевдослучайной последовательности (Pseudo-Random Generation Algorithm or PRGA).

Инициализация:

```
i = 0
```

```
j = 0
```

Цикл генерации:

```
i = (i + 1) mod 2n
```

```
j = (j + S[i]) mod 2n
```

```
  Перестановка (S[i], S[j])
```

```
  Результат: K = S[(S[i] + S[j]) mod 2n]
```

Безопасность

В отличие от современных шифров (таких, как в eSTREAM), RC4 не использует отдельной okazji (попсе) наряду с ключом. Это значит, что если один ключ должен использоваться в течение долгого времени для шифрования нескольких потоков, сама криптосистема, использующая RC4, должна комбинировать оказию и долгосрочный ключ для получения потокового ключа для RC4. Один из возможных выходов — генерировать новый ключ для RC4 с помощью хэш-функции от долгосрочного ключа и okazji. Однако, многие приложения, использующие RC4, просто конкатенируют ключ и оказию. Из-за этого и слабого расписания ключей, используемого в RC4, приложение может стать уязвимым.

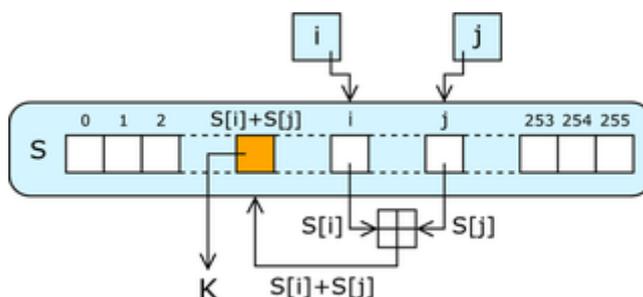


Рис. 1. Генератор ключевого потока RC4

Здесь будут рассмотрены некоторые атаки на шифр и методы защиты от них.

Манипуляция битами

Шифр RC4 крайне уязвим к манипуляции битами, если он не реализован верным образом. И поэтому он был признан устаревшим многими софтверными компаниями, такими как Microsoft. Например, в .NET Framework от Microsoft отсутствует реализация RC4.

Исследования Руза и восстановление ключа из перестановки

В 1995 году Андрою Руз (Andrew Roos) экспериментально пронаблюдал, что первый байт ключевого потока коррелирован с первыми тремя байтами ключа, а первые несколько байт перестановки после алгоритма расписания ключей (KSA) коррелированы с некоторой линейной комбинацией байт ключа. Эти смещения не были доказаны до 2007 года, когда Пол, Рафи и Мэйтрэ доказали коррелированность ключа и ключевого потока. Также Пол и Мэйтрэ доказали коррелированность перестановки и ключа. Последняя работа также использует коррелированность ключа и перестановки для того, чтобы создать первый алгоритм полного восстановления ключа из последней перестановки после KSA, не делая предположений о ключе и векторе инициализации (V or Initial Vector). Этот алгоритм имеет постоянную вероятность успеха в зависимости от времени, которая соответствует квадратному корню из сложности полного перебора. Позднее было сделано много работ о восстановлении ключа из внутреннего состояния RC4.

Атака Флурера, Мантина и Шамира (ФМШ)

В 2001 году, Флурер, Мантин и Шамир опубликовали работу об уязвимости ключевого расписания RC4. Они показали, что среди всех возможных ключей, первые несколько байт ключевого потока являются совсем случайными. Из этих байт можно с высокой вероятностью получить информацию о используемом шифром ключе. И если долговременный ключ и оказия (nonce) просто конкатенируются для создания ключа шифра RC4, то этот долговременный ключ может быть получен с помощью анализа достаточно большого количества сообщений, зашифрованных с использованием данного ключа. Эта уязвимость и некоторые связанные с ней эффекты были использованы при взломе шифрования WEP в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11. Это показало необходимость скорейшей замены WEP, что повлекло за собой разработку нового стандарта безопасности беспроводных сетей WPA.

Криптосистему можно сделать невосприимчивой к этой атаке, если отбрасывать начало ключевого потока. Таким образом, модифицированный алгоритм называется «RC4-drop [n]», где n — количество байт из начала ключевого потока, которые следует отбросить. Рекомендовано использовать n = 768, консервативная оценка составляет n = 3072.

Атака Кляйна

В 2005 году Андреас Кляйн представил анализ шифра RC4, в котором он указал на сильную коррелированность ключа и ключевого потока RC4. Кляйн проанализировал атаки на первом раунде (подобные атаке ФМШ), на втором раунде и возможные их улучшения. Он также предложил некоторые изменения алгоритма для усиления стойкости шифра. В частности, он утверждает, что если поменять направление цикла на обратное в алгоритме ключевого расписания, то можно сделать шифр более стойким к атакам типа ФМШ.

Комбинаторная проблема

В 2001 году Ади Шамир и Ицхак Мантин первыми поставили комбинаторную проблему, связанную с количеством всевозможных входных и выходных данных шифра RC4. Если из всевозможных 256 элементов внутреннего состояния шифра известно x элементов из состояния ($x \leq 256$), то, если предположить, что остальные элементы нулевые, максимальное количество элементов, которые могут быть получены детерминированным алгоритмом за следующие 256 раундов также равно x. В 2004 году это предположение было доказано Сорадюти Полом (Souradyuti Paul) и Бартом Прэнилом (Bart Preneel).

Программная реализация

Работа многих поточных шифров основана на линейных регистрах сдвига с обратной связью (LFSR). Это позволяет достичь высокой эффективности реализаций шифра в виде ИС. Но затрудняет программную реализацию таких шифров. Поскольку шифр RC4 не использует LFSR и основан на байтовых операциях, его удобно реализовывать программно. Типичная реализация выполняется от 8 до 16 машинных команд на каждый байт текста, поэтому программная реализация шифра должна работать очень быстро.

Пример реализации RC4 на языке C:

```
unsigned char S [256];
unsigned int i, j;
/* ключевое расписание */
void rc4_init (unsigned char *key, unsigned int key_
length) {
    for (i = 0; i < 256; i++)
        S [i] = i;

    for (i = j = 0; i < 256; i++) {
        unsigned char temp;
        j = (j + key [i % key_length] + S [i]) & 255;
        temp = S [i];
        S [i] = S [j];
        S [j] = temp;
    }

    i = j = 0;
}

/* Вывод одного псевдослучайного байта */
unsigned char rc4_output () {
    unsigned char temp;
```

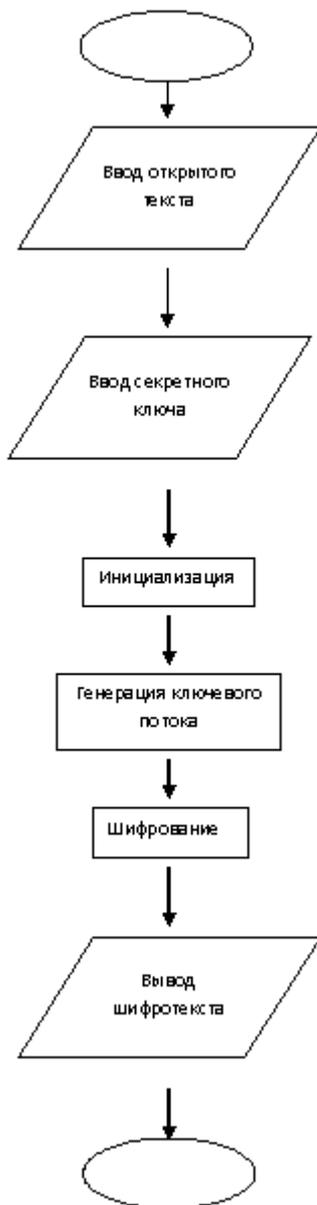
```

i = (i + 1) & 255;
j = (j + S [i]) & 255;

temp = S [j];
S [j] = S [i];
S [i] = temp;

return S [(temp + S [j]) & 255];
}
    
```

Блок-схема программы



Загрузка текста из файла (формат txt):

```
void OpenText ()
```

Функция шифрования

Выполнение всех процедур, связанных с шифрованием и создание файла с шифротекстом:

```
void __fastcall TForm1::aEncryptExecute (TObject *Sender)
```

```
void __fastcall TForm1::ProcessFile (const AnsiString& pFrom, const AnsiString& pTo)
```

```
void __fastcall RC4_InitKey (unsigned char* Key, int KeyLength)
```

Функция расшифрования

Выполнение всех процедур, связанных с расшифрованием и создание файла с расшифрованным текстом:

```
void __fastcall TForm1::aDecryptExecute (TObject *Sender)
```

```
void __fastcall TForm1::ProcessFile (const AnsiString& pFrom, const AnsiString& pTo)
```

```
void __fastcall RC4_InitKey (unsigned char* Key, int KeyLength)
```

Функция выхода из программы

```
void __fastcall TForm1::aExitExecute (TObject *Sender)
```

Функция отображения алгоритма

```
void __fastcall TForm1::aHelpExecute (TObject *Sender)
```

Инструкция пользователя

Главное окно программы

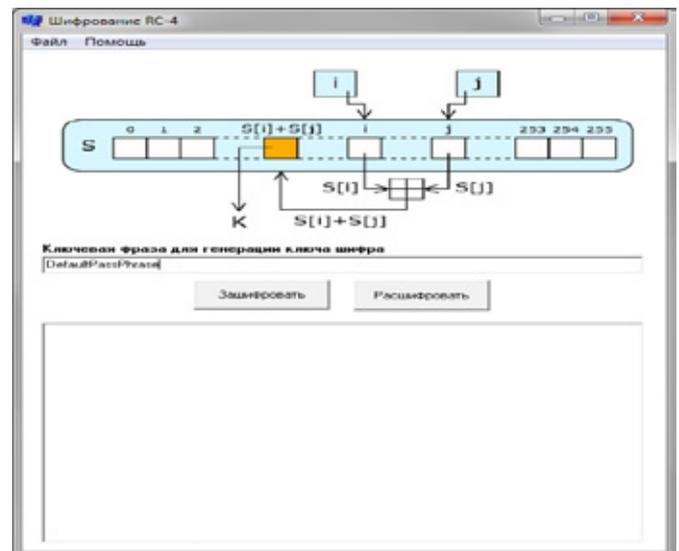


Рис. 2. Общий вид программы

Модули и функции программы

Начальная установка вызова формы

```
fastcall TForm1::TForm1 (TComponent* Owner)
: TForm (Owner)
```

Функция открытого текста

Файл

Содержит:

Зашифровать — выбор файла, который необходимо зашифровать. При нажатии открывается интерфейс, позволяющий выбрать файл в проводнике.

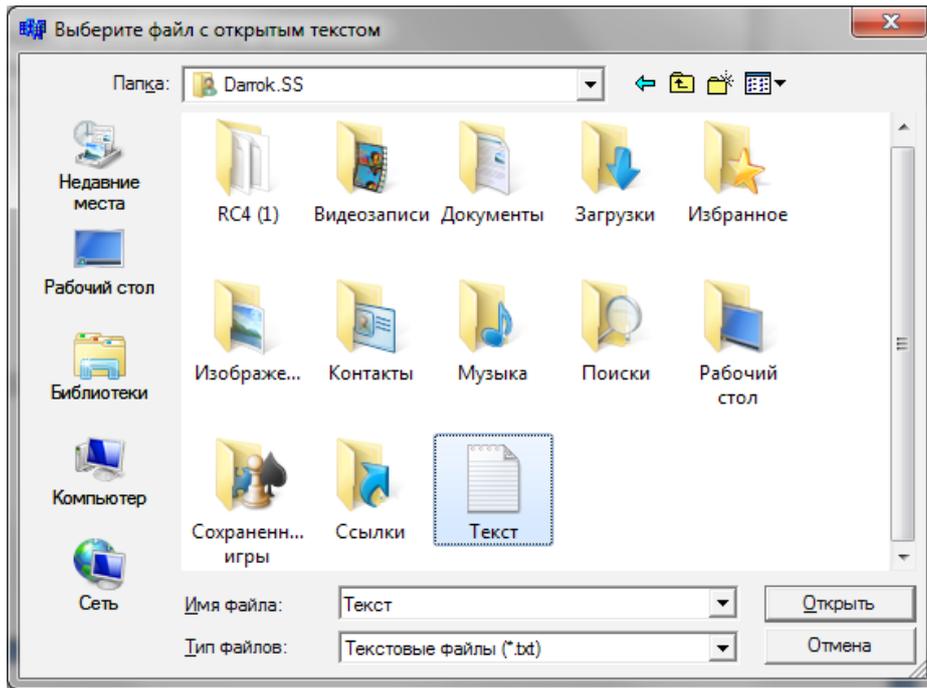


Рис. 3. Выбор текстового файла для шифрования

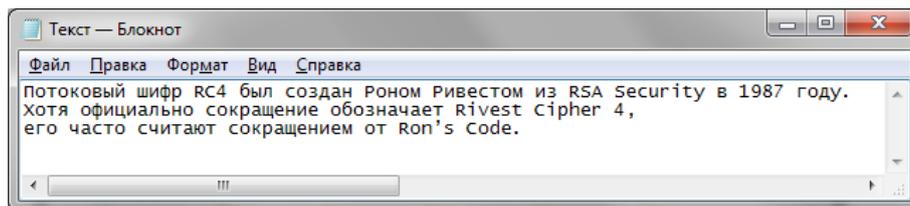


Рис. 4. Шифруемый текст

Расшифровать — выбор файла, который необходимо расшифровать. При нажатии открывается интерфейс, позволяющий выбрать файл в проводнике.

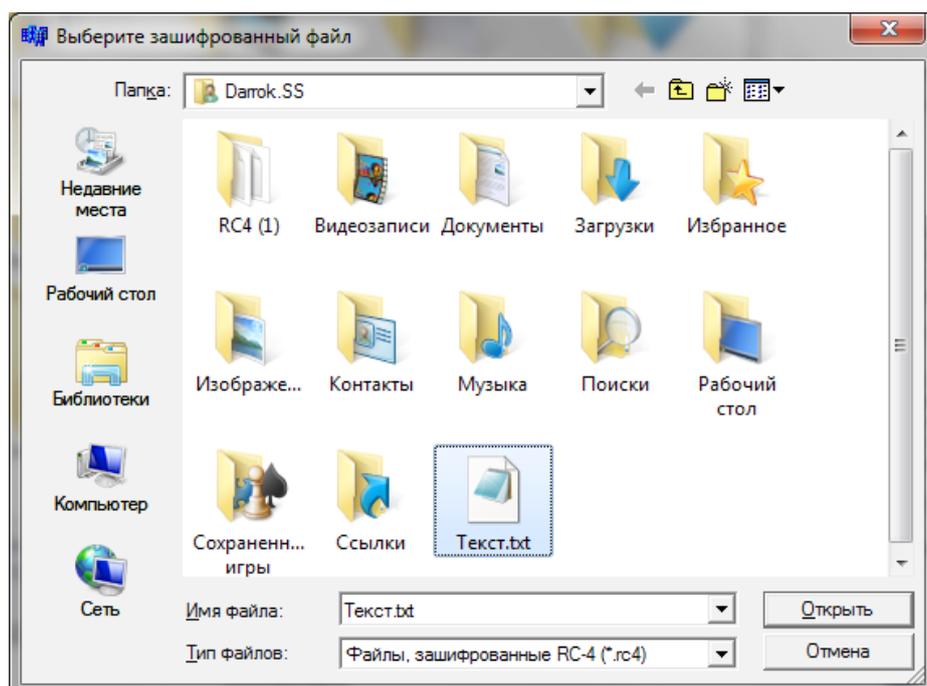


Рис. 5. Выбор текстового файла для расшифрования

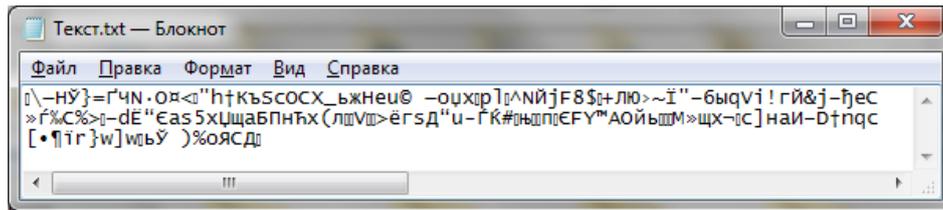


Рис. 6. Зашифрованный текст

Выход — выход из программы.

Помощь

Содержит:

Алгоритм — отображает теоретическую информацию об алгоритме, реализуемом в курсовом проекте.

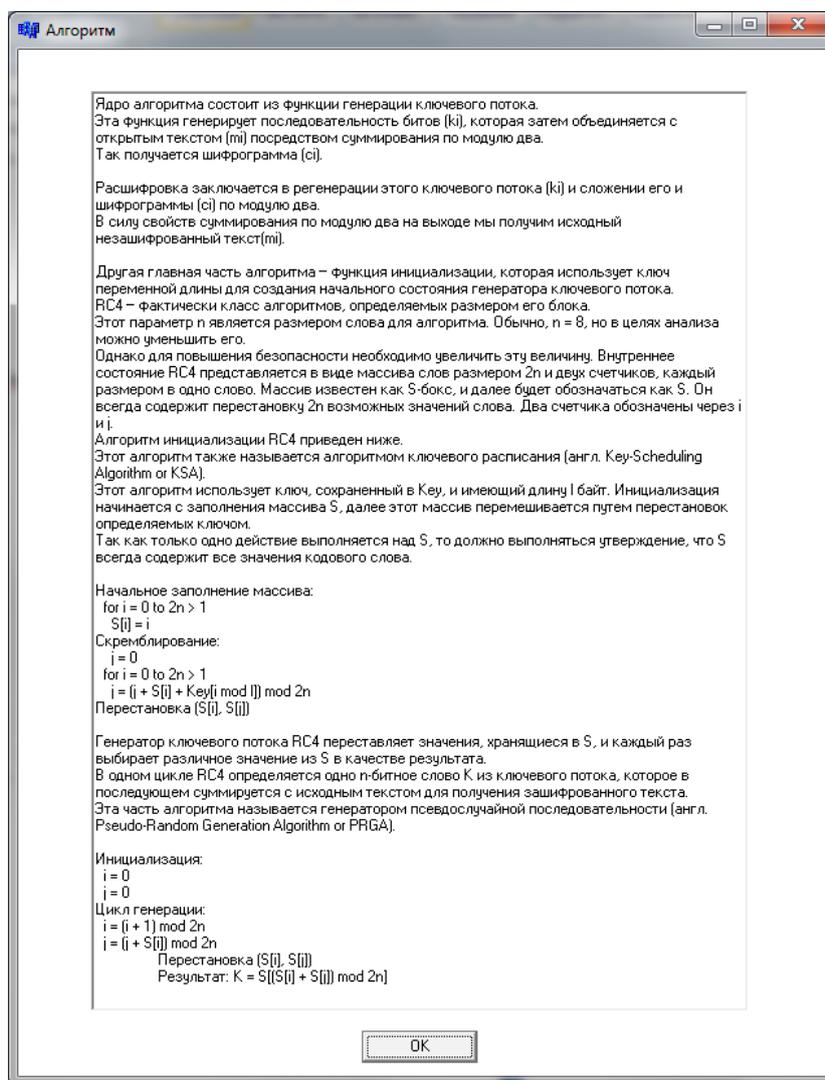


Рис. 7. Описание работы алгоритма

Автор — отображает информацию об авторе курсового проекта и его научного руководителя.

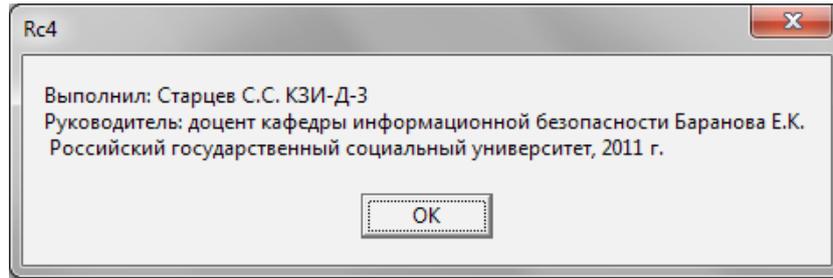


Рис. 8. Информация об авторе и руководителе

Поле «Ключ»

В это поле вводятся символы, являющиеся Ключом, который необходим для реализации шифрования методом, используемым в алгоритме.

Окно процесса шифрования

Отображает процесс шифрования и расшифрования, а именно: инициализацию матрицы, выполнение перестановок, считывание блока, количество обработанных байт и запись блока.

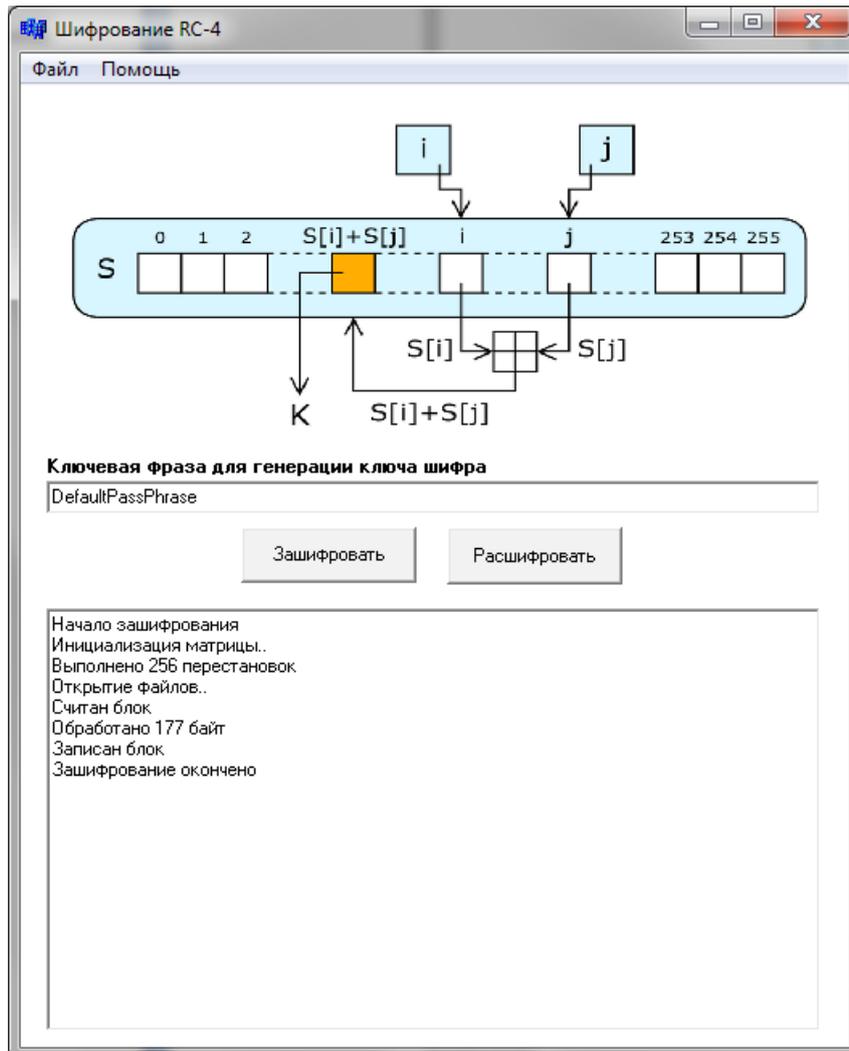


Рис. 9. Отображение процесса шифрования

Последовательность действий

Выбрать входной и выходный файлы, ввести ключ, нажать «Зашифровать/Расшифровать». Т. к. алгоритм симметричный, то процессы шифрования и расшифрования аналогичны.

Заключение

Была поставлена и, в ходе данной курсовой работы, достигнута цель: разработка программы, реализующей алгоритм шифрования RC4, а так же рассмотрены и изучены особенности этого алгоритма.

Потоковый шифр RC4 был разработан Роном Ривестом в 1977 году. Этот шифр позволяет использовать ключи размером от 8 до 2048 бит (с шагом 8). В RC4 для зашифрования и расшифрования применяются одни и те же действия: генерируется гамма, которая накладывается на шифруемое сообщение путем сложения по модулю 2 (операция XOR).

Литература:

1. Б. Шнайер «Прикладная криптография. 2-е издание. Протоколы, алгоритмы и исходные тексты на языке С». Издано: 2002, «Триумф», 816 стр.
2. Кузнецов, М. В. С++. Мастер-класс в задачах и примерах (+ CD-ROM). Спб.: БХВ-Петербург, 2007.
3. Э. А. Ишкова С++ начала программирования/Изд. 3-е М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. — 368 стр.
4. Коблиц, Н. Курс теории чисел и криптографии. — М.: ТВП, 2001.
5. RC4 — Википедия // <http://ru.wikipedia.org/wiki/RC4>
6. RSA Laboratories // <http://www.rsa.com/rsalabs/node.asp?id=2009>
7. <http://dic.academic.ru/>
8. <http://www.des-crypto.ru/cryptography/rc4/>
9. <http://www.wisdom.weizmann.ac.il/~itsik/RC4/rc4.html>

RC4 применяется в таких продуктах, как Microsoft Office, Lotus Notes, Adobe Acrobat и др.

Алгоритм RC4 является собственностью компании RSA Data Security, Inc. Его описание никогда не было опубликовано и предоставлялось партнерам только после подписания соглашения о неразглашении. Однако в сентябре 1994 года в списке рассылки Cipherpunks (Шифропанки) кто-то анонимно опубликовал алгоритм шифрования, который на всех известных тестовых значениях совпадал с RC4. С тех пор сам алгоритм перестал быть секретом, но название RC4 остается торговой маркой. То есть, чтобы получить право заявлять, что в коммерческом программном продукте используется RC4, необходимо приобрести лицензию на этот алгоритм у RSA Data Security. А без лицензии можно утверждать лишь то, что «используется алгоритм, похожий на RC4 и совпадающий с ним на всем известном множестве тестов». Именно поэтому на языке ADA был реализован Alleged (предполагаемый) RC4.

Использование программной системы MPRIORITY для принятия оптимального решения

Белов Илья Владимирович, студент

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема (г. Биробиджан)

Проведено исследование диалоговой системы «MPRIORITY 1.0» на предмет помощи в принятии решения, на рядовом примере покупки внешнего жёсткого диска. Также были проведены сравнения данных предложенных программой с собственными расчётами.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, принятие решений, жесткий диск, MPRIORITY

Принятие решений является важным аспектом нашей жизни, успешное применение которого позволяет нам совершать обдуманные поступки, которые благотворно отразятся на нашем будущем. Существует множество механизмов помогающих в принятии верного решения. В век высоких технологий самыми удобными из них являются специализированные программы, позво-

ляющие быстро расставить приоритеты и принять рациональное решение.

Целью исследования является, изучение возможностей и преимуществ перед обычными расчётами «на бумаге», диалоговой свободно распространяемой системы «MPRIORITY 1.0» в принятии решения по вопросу о приобретении внешнего жесткого диска. Требуется выяс-

нить, какое из предложенных решений будет самым приемлемым.

Исследованием в области теории принятия решения занимаются многие специалисты в большом количестве сфер и отраслей. А.В. Шагов [1] провёл исследования в области теории принятия решений в условиях четкой и нечеткой информации, социально-экономических систем, где приходится решать задачи прикладного характера. Решения в таких системах должны удовлетворять большое количество участников что само по себе является сложной задачей. В статье у А.В. Карпова [2] представлен анализ современного состояния исследований проблемы консенсуса в социальной психологии и психологической теории принятия решений. Выявлены основные трудности и противоречия, сдерживающие дальнейшее развитие исследований в данной области. Предложена новая теоретически обоснованная и практически верифицированная двумерная классификация основных типов консенсуса в процессах принятия групповых решений. В.Е. Новиков [3] производит обоснованное введение понятия коэффициента важности параметра как одного из критериев оценки сложности задач, решаемых судоводителем в процессе принятия решения. Разработан математический аппарат для расчета коэффициента важности, являющегося начальным этапом вычисления индивидуального коэффициента для лица, принимающего решение. Сделаны выводы о необходимости дальнейших исследований и разработки математического аппарата как классической, так и поведенческой теории принятия решения человеком. Р.И. Баженов и В.А. Векслер [4, 5, 6] пока-

зали использование методов интеллектуального анализа для организации процесса принятия решения. М. Майтая и М. Дасс [7] провели исследование влияния СМИ на процесс принятия решения потребителей в сфере приобретения, каких-либо благ, будь то телевизионные каналы или рекламируемые товары. М. Воркман [8] проводит исследование по вопросу коммуникационных технологий, такие как электронная почта или программного обеспечения группы для совместной работы, способствующие совместному решению проблем и принятия решений среди группы людей. Системы генерирует рекомендуемые варианты действий, и рекомендуют их всем участникам процесса принятия решения, это также отличается от обычных инструментов поддержки принятия решений, которые просто собирают информацию для информирования человека, принимающего решение.

Объектом изучения является ситуация, необходимости покупки внешнего жёсткого диска, предложенных в нескольких магазинах. Для начала мы должны определить важность тех или иных критериев лично для нас. На первом месте по значимости стоит цена устройства, далее интерфейс подключения и, в заключение, объём девайса.

В рассмотренном примере было выбрано три внешних жёстких диска из представленных в магазинах:

ACH11—1TU3-CBK Classic USB 3.0, 1 Tb, 4389 уе.

ASH93—500GU-CYL USB 2.0, 500 Gb, 2672 уе.

HD710—1TU3-CYL 2.5» USB 3.0, 1 Tb, 4143 уе.

Составлены таблицы, приоритеты распределены методом анализа иерархий [9].

Таблица 1. Таблица приоритетов по цене

цена	диск1	диск2	диск3
диск 1	1	0,2	0,5
диск 2	5	1	4
диск 3	2	0,25	1

Таблица 2. Таблица приоритетов по интерфейсу подключения

Интерфейс	диск1	диск2	диск3
диск 1	1	7	1
диск 2	0,14	1	0,14
диск 3	1	7	1

Таблица 3. Таблица приоритетов по объёму

Объём	диск1	диск2	диск3
диск 1	1	5	1
диск 2	0,2	1	0,2
диск 3	1	5	1

Из расчётов по методике [10] стало ясно, что поставленный приоритет цены, сразу вывел самый дешёвый вариант в лидеры.

В программу MRIORITY 1.0” (<http://www.tomakechoice.com/mpriority.html>) были введены такие же данные (рис. 1, 2, 3.)

Производим попарные сравнения относительно объекта
ЦЕНА

		1.	2.	3.	Приоритет
1.	1TB 3.0	1	1/5	1/2	0,1125
2.	500GB 2.0	5	1	5	0,7088
3.	1TB 3.0	2	1/5	1	0,1786

СЗ: 3,0536 Применить
 ИС: 0,0268 Закреть Исследовать
 ОС: 0,0462 Отмена

Рис. 1. Расстановка приоритетов по цене

Производим попарные сравнения относительно объекта
ИНТЕРФЕЙС

		1.	2.	3.	Приоритет
1.	1TB 3.0	1	7	1	0,4666
2.	500GB 2.0	1/7	1	1/7	0,0666
3.	1TB 3.0	1	7	1	0,4666

СЗ: 3 Применить
 ИС: 0 Закреть Исследовать
 ОС: 0 Отмена

Рис. 2. Расстановка приоритетов по интерфейсу подключения

Производим попарные сравнения относительно объекта
ОБЪЁМ

		1.	2.	3.	Приоритет
1.	1TB 3.0	1	5	1	0,4545
2.	500GB 2.0	1/5	1	1/5	0,0909
3.	1TB 3.0	1	5	1	0,4545

СЗ: 3 Применить
 ИС: 0 Закреть Исследовать
 ОС: 0 Отмена

Рис. 3. Расстановка приоритетов по объёму

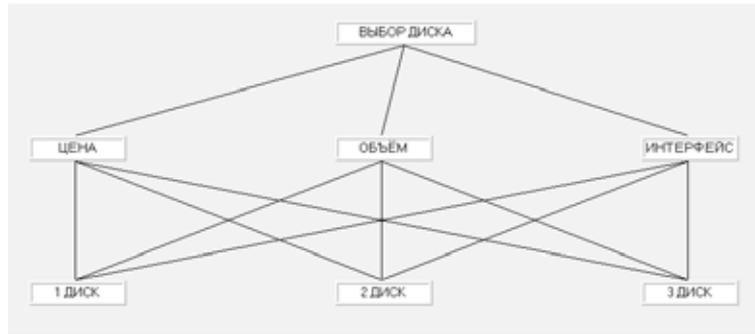


Рис. 4. Иерархия задачи

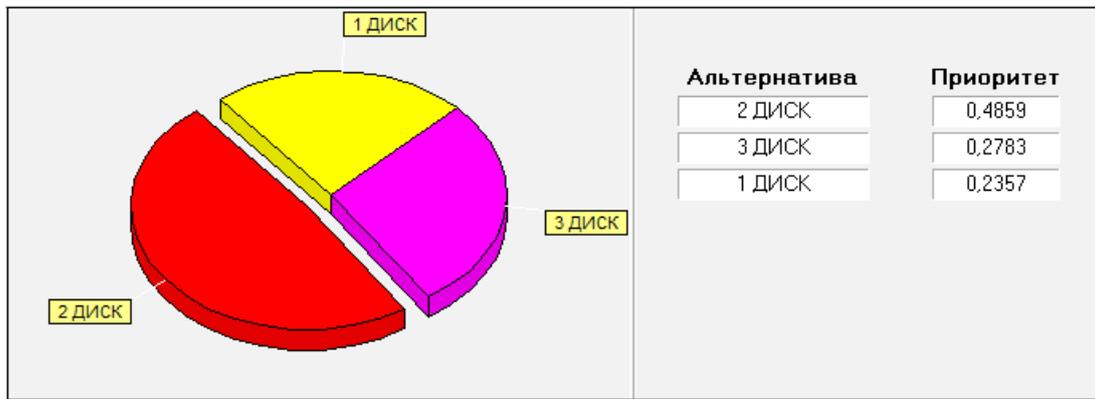


Рис. 5. Итоговый результат

Иерархия принятия решения выглядит, как показано на рис. 4.

Итоговым решением данной задачи в программе, является график показывающий приоритеты решений, вычисленные исходя из данных введенных нами. (Рис. 5.)

В результате по данным предоставленным нам программой мы можем наблюдать, что приоритет цены, который мы установили во главе угла, сыграл свою роль. Самый дешёвый образец, диск по номером 2 является приоритетным, со значением в 49%. Далее, как мы видим, два почти одинаковых диска, различавшихся только в цене, также были проинспектированы системой: 3 диск 28%, 1 диск — самый дорогой 22%. Как и было сказано ранее, все эти значения приоритетов зависят от основного критерия заданного нами, так например, если бы для нас

важнейшую роль в выборе играл объём диска, а цена стояла на последнем месте, то результат был бы совсем иной.

Данные получившиеся в ходе исследования в программе совпали с ручными расчётами с погрешностью в 2%.

Таким образом, было проведено исследование теории принятия решений как инструмент помощи в выборе необходимых нам вещей, с расставленными нами приоритетами к интересующим нас качествам этого устройства. Такой метод можно применять в затруднительных ситуациях при покупке нужной нам вещи, при не совсем очевидных преимуществах данного выбора перед остальными.

Литература:

- Шагов, А. В. Исследование моделей принятия решений в условиях четкой и нечеткой информации: дис.... канд. физ-мат наук: 01.01.09. СПб, 2002. 187 с.
- Карпов, А. В. Основные типы консенсуса в процессах принятия групповых решений // Вестник ярославского государственного университета им. П. Г. Демидова. Серия гуманитарные науки. 2011. № 3. с. 78–84.
- Новиков, В. Е. Методика расчета коэффициента важности задач при принятии решения // эксплуатация морского транспорта. 2011. № 1. с. 49–52.
- Баженов, Р. И., Векслер В. А. Анализ потребительских корзин в 1С: Предприятие на примере ABC-анализа // Информатизация и связь. 2013. № 5. с. 117–123.

5. Баженов, Р.И., Векслер В.А. Реализация XYZ-анализа в программном коде внутреннего языка программирования 1С: Предприятие 8.3 // Информатизация и связь. 2014. №1. с. 35–40.
6. Баженов, Р.И. Интеллектуальные информационные технологии. Биробиджан: ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2011. 176 с.
7. Maitya, M., Dass M. Consumer decision-making across modern and traditional channels: E-commerce, m-commerce, in-store // Decision Support Systems. 2014. №61. P. 34–46.
8. Workman, M. Expert decision support system use, disuse, and misuse: a study using the theory of planned behavior // Computers in Human Behavior. 2005. №21. P. 211–231.
9. Саати, Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 360 с.
10. Баженов, Р.И. О методике преподавания метода анализа иерархий в курсе «Информационная безопасность и защита информации» // Современные научные исследования и инновации. 2014. №4. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33202> (дата обращения: 21.05.2014).

Разработка компьютерной модели управления монитором

Ветлугин Андрей Сергеевич, студент

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема (г. Биробиджан)

В статье дается описание разработки компьютерной модели на основе теории автоматов, этапов решения поставленной задачи и пути ее реализации в программной среде Borland Delphi. В компьютерной программной модели применяется switch-технология.

Ключевые слова: теория автоматов, цифровой автомат, модель, монитор.

Большинство устройств обработки цифровой информации можно представить в виде автомата. Примерами автоматов могут служить компьютеры, аксиоматические теории, математические абстрактные машины (машины Поста, Тьюринга, Маркова) и т. п. Современные компьютеры, созданные для различных областей применения, во многом отличаются друг от друга. Однако все они построены на основе принципа программного управления. Поэтому проектирование и разработка устройств на основе автоматной теории актуально.

Разработкой и применением теории автоматов занимались различные ученые. В программировании она получила свое распространение как switch-технология [10]. А.А. Астафуров определил декларативный подход к вложению и наследованию автоматных классов [1]. Р.И. Баженов, М.А. Афанасьева, Л.С. Гринкруг применяли теорию автоматов к программированию мастеров в информационных системах, методов интеллектуального анализа, компьютерному моделированию [2, 3, 4, 5, 6]. Описание применения switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров авт представили Н.А. Зубков, В.М. Иськив, В.В. Чугунов [7]. Д.А. Милехин, Ю.С. Смагин, А.А. Гоман, О.Ю. Шатковский провели унификацию алгоритмов функций логики микропроцессорных систем централизации с использованием switch-технологии [9]. Автоматное программирование с использованием динамических языков программирования рассмотрел О.Г. Степанов [11]. В. Татарчевский показал применение switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров [12].

Задачей исследования являлось компьютерное моделирование цифрового автомата для управления настройками монитора.

Произведем разработку модели цифрового автомата. Граф автомата представлен на рис. 1. Кодировка обозначений заданы в соответствующих таблицах (табл. 1, табл. 2, табл. 3).

Далее определяются таблицы переходов и выходов (рис. 2).

В результате произведенных вычислений по методике описанной в [3, 8] строим функциональную схему автомата. На основе полученных логических функций

$$y_1 = x_1 \overline{Q_1} + x_1 \overline{Q_1} Q_2 \overline{Q_3}$$

$$y_2 = x_1 x_2 + x_1$$

$$y_3 = x_1 x_2 x_3 + Q_1 + x_1 \overline{x_2} + x_1 \overline{x_2} x_3 + x_1 \overline{Q_1} Q_2 \overline{Q_3} Q_4 + x_1 x_2 x_3 \overline{Q_1} Q_2 \overline{Q_3} Q_4 + x_1 \overline{Q_1} Q_2 \overline{Q_3} Q_4$$

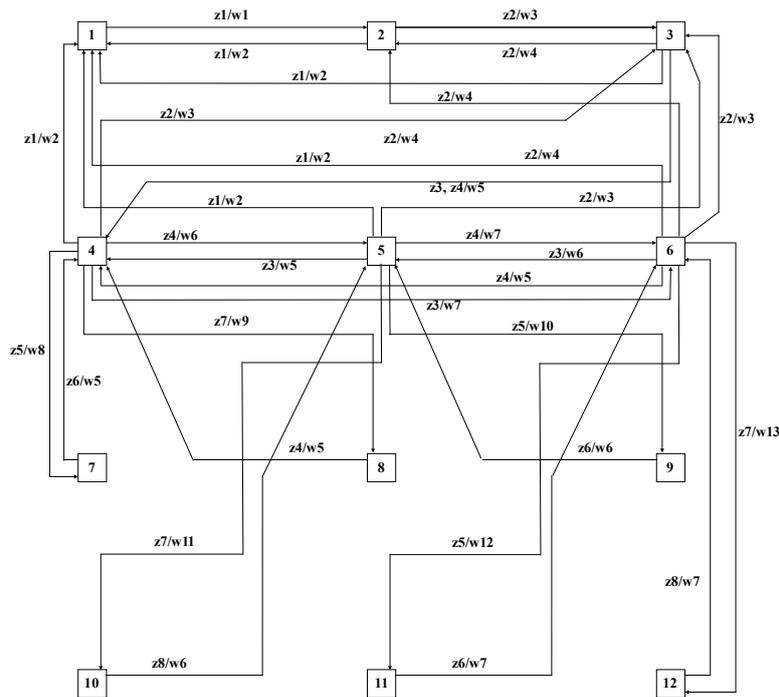


Рис. 1. Граф автомата

Таблица 1. Внутренние состояния

Состояние	Состояние
a_1 — выключен	a_7 — увеличивает настройку яркости
a_2 — включен	a_8 — уменьшает настройку яркости
a_3 — показывает меню	a_9 — увеличивает настройку контрастности
a_4 — показывает настройку яркости	a_{10} — уменьшает настройку контрастности
a_5 — показывает настройку контрастности	a_{11} — увеличивает настройку насыщенности
a_6 — показывает настройку насыщенности	a_{12} — уменьшает настройку насыщенности

Таблица 2. Входные сигналы

Сигналы	Сигналы
Z_1 — нажатие кнопки «Питание»	Z_5 — нажатие кнопки «Вправо»
Z_2 — нажатие кнопки «Меню»	Z_6 — отжатие кнопки «Вправо»
Z_3 — нажатие кнопки «Вверх»	Z_7 — нажатие кнопки «Влево»
Z_4 — нажатие кнопки «Вниз»	Z_8 — отжатие кнопки «Влево»

Таблица 3. Выходные сигналы

Сигналы	Сигналы
W_1 — включить	W_8 — увеличить яркость
W_2 — выключить	W_9 — уменьшить яркость
W_3 — показать меню	W_{10} — увеличить контрастность
W_4 — скрыть меню	W_{11} — уменьшить контрастность
W_5 — показать настройку яркости	W_{12} — увеличить насыщенность
W_6 — показать настройку контрастности	W_{13} — уменьшить насыщенность
W_7 — показать настройку насыщенности	

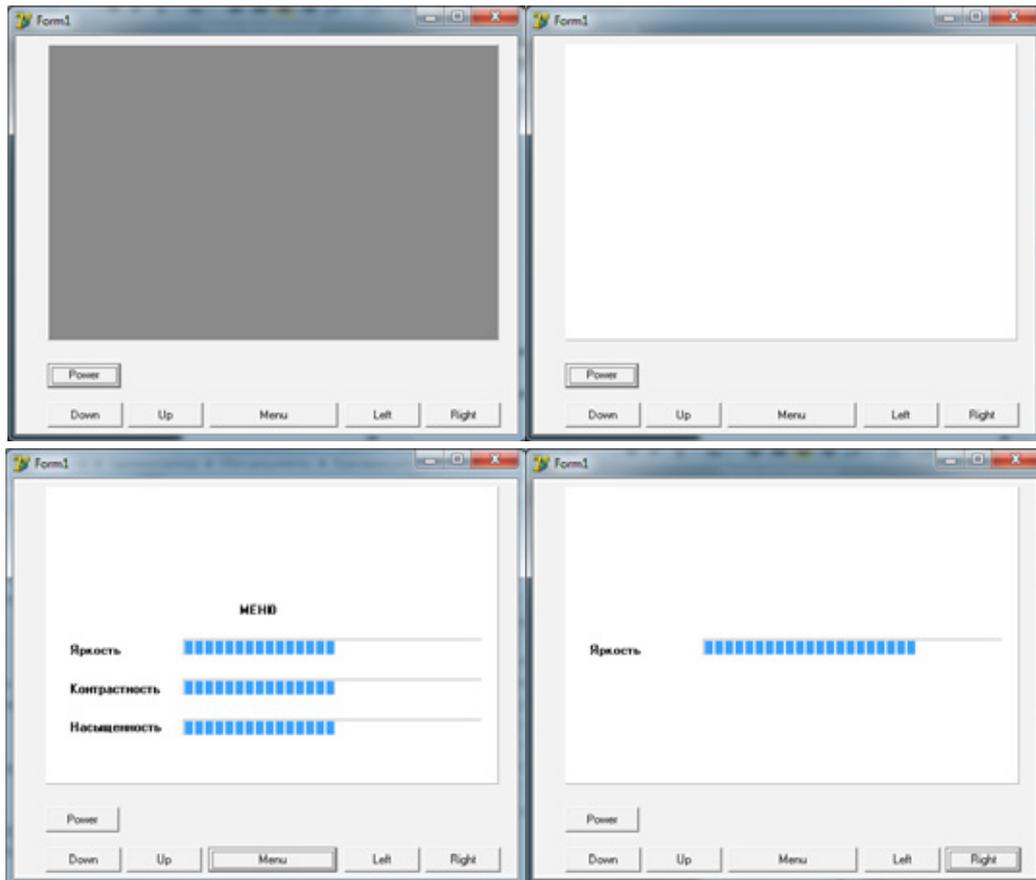


Рис. 4. Формы программы, реализующей цифровой автомат

```

Label1. Visible:= False;
Label2. Visible:= False;
Label3. Visible:= False;
Label4. Visible:= False;
ProgressBar1. Visible:= False;
ProgressBar2. Visible:= False;
ProgressBar3. Visible:= False;
end;
2: //включен
begin
  Panel1. Color:= clWhite;
  ...
end;

```

Покажем часть программного кода, иллюстрирующего работу процедуры.

```

procedure TForm1. Button3Click (Sender: TObject);
//=====кнопка «Up»=====
begin
  case state of
    3: state:= 4;
    4: state:= 6;
    5: state:= 4;
    6: state:= 5;
  end;
  automat (state);
end;

```

В результате исследования были разработаны компьютерные модели автомата по управлению монитором в средах Electronics WorkBench и Delphi. Полученные результаты могут быть использованы для обучения прикладной теории автоматов и switch-технологии.

Литература:

1. Астафуров, А. А. Декларативный подход к вложению и наследованию автоматных классов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. №25. с. 28–36.
2. Баженов, Р. И. Интеллектуальные информационные технологии. Биробиджан: ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2011. 176 с.
3. Баженов, Р. И. Методические рекомендации для выполнения курсовой работы по дисциплине «Теория автоматов». Биробиджан: Изд-во ДВГСГА, 2008. 20 с.
4. Баженов, Р. И., Афанасьева М. А. Разработка программной модели контроля дверей холодильника на основе теории автоматов // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2014. №4 (94). с. 306–308.
5. Баженов, Р. И., Гринкруг Л. С. Информационная система Абитуриент-Деканат ФГБОУ ВПО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема» // Информатизация и связь. 2013. №2. с. 97–99.
6. Баженов, Р. И., Гринкруг Л. С. Информационная система по расчету и распределению нагрузки профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема» // Информатизация и связь. 2012. №5. с. 75–78.
7. Зубков, Н. А., Иськив В. М., Чугунов В. В. Применение switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров авт // Сборник научных трудов Sworld. 2010. Т. 7. №4. с. 39–40.
8. Кардашев, Г. А. Цифровая электроника на персональном компьютере. Electronics Workbench и Micro-Cap. М.: Горячая Линия-Телеком, 2003. 311 с.
9. Милехин, Д. А., Смагин Ю. С., Гоман А. А., Шатковский О. Ю. Унификация алгоритмов функций логики микропроцессорных систем централизации с использованием switch-технологии // Проектирование и технология электронных средств. 2007. №4. с. 59–63.
10. Поликарпова, Н. И., Шалыто А. А. Автоматное программирование. СПб.: Питер, 2009. 176 с.
11. Степанов, О. Г. Автоматное программирование с использованием динамических языков программирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. №25. с. 37–43.
12. Татарчевский, В. Применение switch-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров. Часть 1 // Компоненты и технологии. 2006. №64. с. 164–167.

Применение программной системы Digital Security Office для проведения аудита безопасности информационной системы обработки персональных данных

Вихляев Сергей Алексеевич, студент;

Белов Илья Владимирович, студент;

Кононова Маргарита Андреевна, студент

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема (г. Биробиджан)

В данной статье представлены результаты исследования по аудиту безопасности для информационной системы обработки персональных данных бухгалтерии университета. Исследования проводились в экспертной системе информационной безопасности Digital Security Office, на основе ее двух подсистем: Гриф и Кондор.

Ключевые слова: *риски, угрозы, политика безопасности, оценка рисков и угроз, экспертная оценка, информационная безопасность.*

На современном этапе развития современного общества многие традиционные ресурсы человеческого прогресса постепенно утрачивают свое значение. На смену им приходит новый ресурс, единственный продукт не убывающий, а растущий со временем, называемый

информацией. С переходом на использование технических средств связи, информация подвергается воздействию случайных процессов (неисправностям и сбоям оборудования, ошибкам операторов и т. д.), которые могут привести к ее разрушению, изменению и уничтожению. По-

этому обеспечение безопасного хранения, обработки данных в организации является одной из важнейших задач.

Проблемами оценки угроз в информационной безопасности занимаются многие российские и зарубежные ученые. А.С. Исаев описал автоматизацию процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных на основе теории построения экспертных систем [1]. О.А. Бурдин, А.А. Кононов, И.В. Аникин, А.С. Потапов, О.Ю. Коробулина, Н.В. Иванова, Е.Н. Созинова представили применение разработанных экспертных систем для анализа и оценке информационной безопасности [2, 3, 4, 5]. Экспертную оценку эффективности построения системы безопасности информационно-телекоммуникационных систем высокой доступности разработали С. В., Борохов, И.Н. Сидницын, А.С. Рыков [6]. Р.И. Баженов, Д.К. Лопатин, В.А. Векслер описали применение интеллектуальных технологий для построения информационных систем [7, 8, 9, 10]. Структура, базовые функции и возможности специализированной экспертной системы оценки состояния обеспечения безопасности информации в критически важных системах информационной инфраструктуры были предметом исследования Л.А. Шивдякова, И.Н. Бозарного, С.А. Головина, Ю.К. Язова [11]. О.А. Антамошкин, Г.А. Пузанова, В.В. Онтужев определили особенности проектирования автоматизированной системы экспертной оценки информационной безопасности организаций [12]. Оценку относительных весов опасностей рисков информационной безопасности автоматизированных систем провели А.Г. Кашенко, А.Г. Остапенко [13]. Зарубежные ученые также уделяют внимание исследованию систем информационной безопасности [17, 18, 19, 20].

Целью исследования является проанализировать информационную систему обработки персональных данных (ИСПД) в бухгалтерии университета. В подразделениях вуза функционирует несколько программных систем [14, 15], поэтому требуется выяснить, как построена обрабатывающая данные система и какие меры защиты принимаются в ходе работы персонала.

Для исследования информационной системы обработки персональных данных в бухгалтерии вуза было решено использовать программное обеспечение Digital Security Office 2006, имеющие две подсистемы «Гриф» и «Кондор» [16].

Бухгалтерия университета осуществляет сплошное, непрерывное, взаимосвязанное, документальное отражение учебной деятельности данного учреждения. Функции данного отдела возлагаются на соответствующие должностные лица бухгалтеров, которые производят учет, необходимый для характеристики отдельных сторон деятельности университета. Указанные должностные лица несут ответственность за правильное и своевременное оформление документных операций, циркулирующих в процессе осуществления учебной деятельности. В них хранятся персональные данные студентов, фамилия, имя,

отчество, дата рождения, адрес регистрации по месту жительства, адрес фактического проживания, контактные данные, сведения об образовании, задолженности по общежитию и т.д.

Объектом изучения являются две автономные вычислительные станции. На одной из них хранятся данные о студентах среднего профессионального образования, на другой, данные о студентах высшего профессионального образования. Информационная система обработки персональных данных не превышает определённый порог записей, что позволяет отнести систему ко второй категории информационной безопасности.

Для защиты данных используют операционную систему Microsoft Windows XP Professional (сертифицированная ФСТЭК версия), которая обеспечивает выполнение основных требований руководящих и нормативных документов по защите конфиденциальной информации и персональных данных. В операционную систему входит программно-аппаратный комплекс усиления функций аутентификации пользователей, включающий сертифицированный электронный USB-ключ ключ eToken 5 и сертифицированную программу eToken Network Logon. Этот ключ меняют один раз в три месяца. В случае увольнения работника ключи меняются автоматически. Проводится инструктаж о неразглашении персональных данных. Постоянно контролируют журнал событий. Раз в год проводится полная проверка ИСПД бухгалтерии. Так же существует список лиц (утвержденный ректором) допущенных к работе за данными станциями и список лиц допущенных к обслуживанию (только администратор). Для работы с персональными данными имеется два USB-носителя, первый используется для переноса данных, а второй используется для резервного копирования. В кабинете установлено система видеонаблюдения, пожарная сигнализация и охранная система.

Существуют инструкции по информационной безопасности бухгалтерии университета:

- пользовательские;
- администрирование безопасности;
- парольная защита;
- антивирусная защита;
- резервное копирование.

В подсистеме «Гриф» была создана модель бухгалтерии университета, обозначены рабочие станции и перечислены все угрозы с уязвимостями, способными нанести ущерб информационной системе (рис. 1, рис. 2).

Модель была проанализирована и программа показала результат:

- У — Уровень ущерба 43,1 %,
- Р — Уровень риска 9,7 %.

В подсистеме «Кондор» по уже созданной модели бухгалтерии, было проведено тестирование.

Разделы, по которым проведено тестирование:

1. Политика безопасности.

Невыполненные требования — 22,2 %, Риск — 24,0 %



Рис. 1. Уязвимости ИСПД

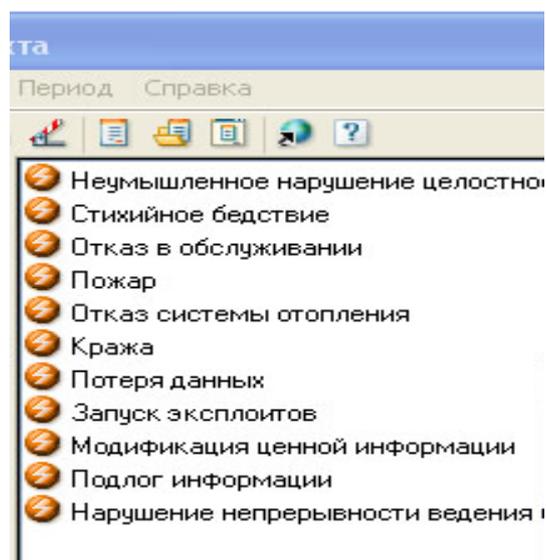


Рис. 2. Угрозы ИСПД

2. Организационные меры.
 Невыполненные требования — 38.2%, Риск — 34.9%

3. Управление ресурсами.
 Невыполненные требования — 19.0%, Риск — 13.0%

4. Безопасность персонала.
 Невыполненные требования — 13.3%, Риск — 14.6%

5. Физическая безопасность.
 Невыполненные требования — 26.7%, Риск — 24.3%

В результате, по показаниям данных можно сказать что, система защищена набором средств от корпорации Microsoft Windows XP Professional, и существуют показатели риска, которые находятся на высоком уровне. Так средние показатели риска системы находятся на уровне 13%, самым высоким он оказался в сфере организаци-

онной деятельности, что объясняется категорией данных, с которыми они работают. Относительно ущерба, нанесённого системе при осуществлении угроз указанных нами в модели, то уровень этой величины находится в районе 52%, это говорит о том, что система при каких либо нарушениях равновесия получит ощутимый урон.

Таким образом, была исследована информационная система обработки персональных данных бухгалтерии в сфере аудита информационной безопасности. Полученные результаты были переданы в управление информатизации (сектор информационной безопасности). Данное исследование может быть использовано при проектировании других информационных систем обработки персональных данных.

Литература:

1. Исаев, А.С. Автоматизация процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных на основе теории построения экспертных систем // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. №2. с. 133–135.
2. Бурдин, О.А., Кононов А.А. Комплексная экспертная система управления информационной безопасностью «Авангард» // Информационное общество. 2002. №3. с. 38–44.
3. Аникин, И. В., Потапов А. С. Программный комплекс оценки рисков информационной безопасности на основе производственно-фреймовой модели // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2010. Т. 5. № 108. с. 98–102.
4. Коробулина, О.Ю., Иванова Н.В. Экспертная система аудита информационной безопасности // Программные продукты и системы. 2010. №4. с. 21.

5. Созинова, Е.Н. Применение экспертных систем для анализа и оценки информационной безопасности // Молодой ученый. 2011. №10. с. 64–66.
6. Борохов, С.В., Синицын И.Н., Рыков А.С. Экспертная оценка эффективности построения системы безопасности информационно-телекоммуникационных систем высокой доступности // Научные технологии. 2006. Т. 7. №2. с. 5–29.
7. Баженов, Р.И., Лопатин Д.К. О применении современных технологий в разработке интеллектуальных систем // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2014. №3 (93). с. 263–264.
8. Баженов, Р.И. Интеллектуальные информационные технологии. Биробиджан: ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2011. 176 с.
9. Баженов, Р.И., Векслер В.А. Анализ потребительских корзин в 1С: Предприятие на примере ABC-анализа // Информатизация и связь. 2013. №5. с. 117–123.
10. Баженов, Р.И., Векслер В.А. Реализация XYZ-анализа в программном коде внутреннего языка программирования 1С: Предприятие 8.3 // Информатизация и связь. 2014. №1. с. 35–40.
11. Шивдяков, Л.А., Бозарный И.Н., Головин С.А., Язов Ю.К. Структура, базовые функции и возможности специализированной экспертной системы оценки состояния обеспечения безопасности информации в критически важных системах информационной инфраструктуры // Информация и безопасность. 2010. Т. 13. №3. с. 381–386.
12. Антамошкин, О.А., Пузанова Г.А., Онтужев В.В. Особенности проектирования автоматизированной системы экспертной оценки информационной безопасности организаций // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2013. №3. с. 4–9.
13. Кащенко, А.Г., Остапенко А.Г. Оценка относительных весов опасностей рисков информационной безопасности автоматизированных систем // Теория и техника радиосвязи. 2005. №1. с. 90–97.
14. Баженов, Р.И., Гринкруг Л.С. Информационная система абитуриент-деканат ФГБОУ ВПО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема» // Информатизация и связь. 2013. №2. с. 97–99.
15. Баженов, Р.И., Гринкруг Л.С. Информационная система по расчету и распределению нагрузки профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема» // Информатизация и связь. 2012. №5. с. 75–78.
16. Баженов, Р.И. Информационная безопасность и защита информации: практикум. Биробиджан: Изд-во ГОУВПО «ДВГСГА», 2011. 140 с.
17. Summersa, R.C., Kurzban S.A. Potential applications of knowledge-based methods to computer security // Computers & Security. 1988. №7. P. 373–385.
18. Fernández-Alemán, J. L., Señor I. C., Lozoya P. Á. O., Toval A. Security and privacy in electronic health records: A systematic literature review // Journal of Biomedical Informatics. 2013. №46. P. 541–562.
19. Ghazvini, A., Shukur Z. Security Challenges and Success Factors of Electronic Healthcare System // Procedia Technology. 2013. №11. P. 212–219.
20. Leitner, M., Rinderle-Ma S. A systematic review on security in Process-Aware Information Systems — Constitution, challenges, and future directions // Information and Software Technology. 2014. №56. P. 273–293.

Причины необходимости использования диаграмм связей в учебном процессе вуза

Кожевников Николай Сергеевич, старший преподаватель
Тюменский государственный университет, филиал в г. Заводоуковске

В данном исследовании делается попытка раскрытия причин необходимости использования диаграмм связей в учебном процессе вуза. обоснование необходимости использования такого вида обучающих материалов в учебном процессе вуза.

Ключевые слова: диаграмма, связь, карта, информация, материал, использование, учебный, результат, создание.

В последнее время в образовательный процесс вуза интенсивно внедряются западные методики по подаче и запоминанию учебного материала. К одной из таких

методик относят карты разума или карты памяти. Более правильное их научное название — диаграммы связей или ассоциативные карты.

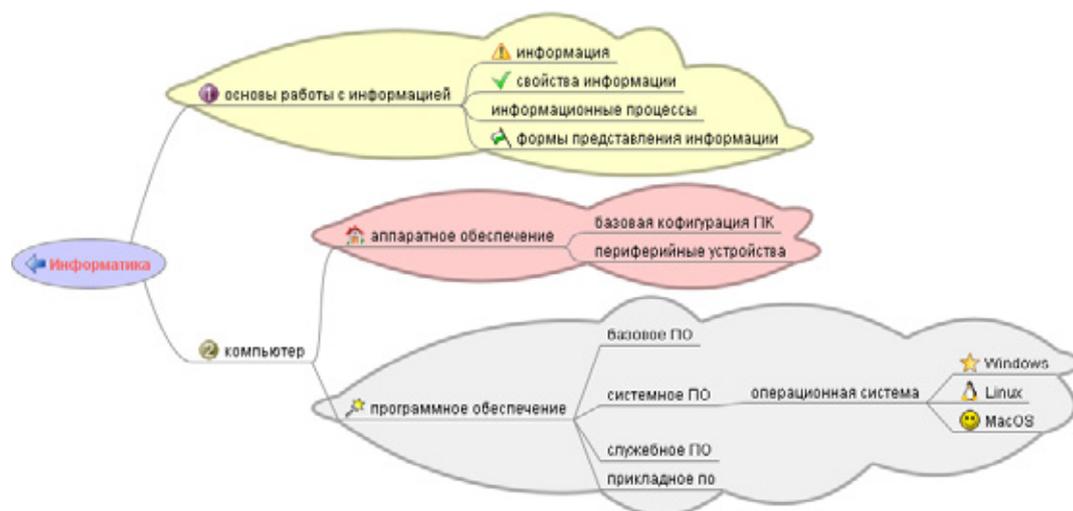


Рис. 1. Пример диаграммы связей

Целью данного исследования является обоснование необходимости использования такого вида обучающих материалов в учебном процессе вуза.

Актуальность исследования заключается в новизне метода и недостаточном его использовании в образовательном процессе.

Во-первых, нужно определить, что представляет собой диаграмма связей. Диаграмма связей имеет древовидную структуру, которая может сопровождаться значками, рисунками, а её фрагменты выделяются цветом и соединяются линиями и рёбрами. Отправной точкой для построения является некий ключевой центральный объект, который постепенно обрастает связями с другими подчиненными или имеющими отношение объектами и понятиями (см. рис. 1) [4].

Методика создания диаграмм связей была впервые предложена психологом Тони Бьюзеном [3]. Однако корни этого творения можно проследить в письменных источниках, начиная ещё со времен Пифагора. Также, Тони Бьюзен создал свое собственное программное обеспечение для поддержки создания «карт ума» под названием iMindMap в декабре 2006 года [1]. Все мы часто пользуемся привычным способом обработки информации — читаем или слушаем, запоминаем или записываем то, что показалось важным. Для запоминания перечитываем свои записи.

Однако такие записи представляют собой хаотичный набор текста — неорганизованные, бестолковые конспекты. Либо в виде структурированного списка — с пунктами, выделением и, возможно, диаграммами или иными графически отображающими структуру элементами.

В таком методе максимально задействовано лишь левое полушарие, отвечающее за вербальную информацию (речь) и линейную логику — семантические последовательности. Правое полушарие, обрабатывающее образную информацию, практически не задействовано.

Исключение составляют люди художественного склада ума, но они пока не «увидят» в воображении картинку, не смогут понять внутреннюю структуру нового знания. В случае сложной информации это не всегда возможно.

Такую информацию тяжело понять с наскока, еще сложнее запомнить. Одним из выходов из этой ситуации является использование визуальных ассоциаций (картинок, символов и знаков), визуального представления (рисования карты), радиального мышления (создания логической и ассоциативной структуры, имеющей единый центр) достигается эффект глубокого понимания и отличного запоминания информации.

Наше правое полушарие мыслит целостно. Образное же мышление большей частью бессознательно. Данный способ позволяет задействовать подсознание. [5]

Для чего нужна диаграмма связей? Диаграмма связей является одним из современных инструментов по систематизации большого количества логически связанной информации и визуальному представлению знаний. С помощью неё можно планировать свою учебную деятельность, досуг, развивать интеллектуальные способности и наглядно представлять результаты ваших (научных) достижений с помощью специальных схем-диаграмм. Японский союз ученых и инженеров в 1979 г. включил диаграмму связей в состав семи методов управления качеством [6].

Диаграммы связей, в наше время, составляют инженеры, ученые, преподаватели, предприниматели, дизайнеры и люди многих других специальностей.

Область применения таких диаграмм очень обширна:

- обучение;
- конспектирование лекций;
- решение творческих задач;
- мозговой штурм;
- разработка проектов разной сложности;
- составление списков дел;
- проведение тренингов;

- решение личных проблем;
- и т.д.

В учебном процессе диаграммы связей можно использовать в самых разных целях — от защиты доклада на семинаре до создания информативного слайда при защите выпускной квалификационной работы.

Нарисовать такую диаграмму несложно. По сути, её можно нарисовать на обычном листе бумаги, используя только ластик и карандаш. Также её можно начертить, используя технологии, которые предоставляют нам распространённые офисные пакеты. Но лучше всего, создавать визуальные схемы с помощью специального программного обеспечения, так как они лучше дают понять суть метода и быстрее представить результаты.

Среди компьютерных программ по созданию и работе с диаграммами связей (ментальными картами) существует несколько классов программ, в зависимости от вида используемой лицензии:

- платные (MindManager или ConceptDraw Mindmap);
- бесплатные (XMind, FreeMind, Deepamehta);
- условно-бесплатные (Mindmapping, NovaMind, MindView, Dropmind, VUE, Eminec MYmap, Mindcad, Cmap, TheBrain).

В зависимости от того, в какой программной среде по созданию ментальных карт работает пользователь инструменты делят на:

- онлайн-сервисы (MindMeister, Mindomo, Mapmyself, Mind42, Bubbl. us, Mindjet, Exploratree, Text2mindmap, Debategraph);
- оффлайн-программы (XMind, FreeMind, MindManager, Deepamehta).

Для целей нашего исследования была выбрана программа Xmind, так как базовая версия этой программы является бесплатной для частного использования.

Выделим основные свойства диаграммами связей:

- Возможность переосмыслить и найти новое. (Пересмотр интеллект-карт через некоторое время помогает усвоить картину в целом, запомнить её, а также увидеть новые идеи.);
- Запоминаемость. (Благодаря работе обоих полушарий мозга, использованию образов и цвета интеллект-карта легко запоминается.);
- Наглядность. (Вся проблема с её многочисленными связями обозрима одним взглядом.);
- Привлекательность. (Диаграмма связей имеет свою эстетику, потому рассматривать её не только интересно, но и приятно.);
- Творчество. (Интеллект-карта стимулирует творчество, помогает найти нестандартные пути решения задачи.).

Эту методику можно использовать на разных формах учебного занятия:

- изучение нового лекционного материала;
- закрепление пройденного материала;

- обобщение изученного материала;
- подготовка научно-исследовательской работы;
- подготовка презентации;
- и т.д.

При помощи диаграммы связей намного проще выделить главную идею: она размещена в центре листа, отчетливо заметна важность каждой идеи. Более значимые идеи будут находиться ближе к центру, а менее важные — на периферии. Становятся заметнее связи между ключевыми понятиями. В результате информация будет воспринята лучше и быстрее.

Карту можно без труда дополнить новой информацией без вычеркиваний и вставок. На запоминание и повторение информации тратится меньше времени, её воспроизведение становится более осмысленным.

Также можно предложить студентам составить диаграммы связей по пройденному лекционному материалу в качестве самостоятельной внеаудиторной деятельности. Несомненно, что группе будет очень интересно послушать и посмотреть на одном из семинаров собственные концепции записи материала или проблемы.

Составление подобных диаграмм поднимает мышление на новую высоту. В то время как обычный, линейный вид записей ведёт своё начало из Средневековья, то карты памяти — детище века компьютерных технологий.

Приведем преимущества диаграммы связей перед стандартным способом, используя возможности самого метода (рис. 2).

В рамках исследования была проведена работа, которая основывается на результатах, полученных от применения ментальных карт на занятиях по дисциплине «Аутсорсинг» заочного отделения. Первоначально было предложено разобраться с самой технологией, а потом построить свою диаграмму связей, связанную с местом работы или домом.

Результаты проделанной студентами-заочниками работы получились достаточно хорошими, а работа продуктивной. Каждый из них смог разобраться по теме, а также выявить новые скрытые взаимосвязи.

В добавление к вышесказанному, можно сформулировать выводы о необходимости использования диаграмм связей:

- Повышает способность концентрироваться;
- Позволяет разбираться в сложных взаимосвязях;
- Развивает способность организовывать и представлять информацию;
- Развивает умение эффективно планировать;
- Улучшает память;
- Повышает качество учебного процесса.

К дополнительным преимуществам можно отнести:

- возможность использовать собственный стиль;
- Более быстрое принятие решения;
- Современный подход к запоминанию материала;
- Учит выделять наиболее значимое. [2]

Конечно, как и у любого обучающего материала у ментальных карт есть свои недостатки. К ним можно отнести:



Рис. 2. Преимущества диаграммы связей

— Обязательное использование одного центрального элемента;

— Сложность в определении большого многообразия связей между множеством элементов;

— Не каждый учебный материал подходит для преобразования в ментальную карту.

Логично предположить, что наиболее успешных результатов можно добиться лишь после прохождения специальных тренингов, записаться на которые можно

в крупных городах или через Интернет. В любом случае советуем ознакомиться хотя бы с одним из источников по этой теме.

В рамках предметов, посвященных изучению информационных технологий, было принято решение о пробном использовании данного метода с целью повышения качества обучения в филиале. Надеемся, что этот метод будет активно использоваться преподавателями и студентами в своей учебной деятельности.

Литература:

1. iMindMap Overview. Сайт «ThinkBuzan». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://thinkbuzan.com/products/imindmap/>
2. Видеотренинг: Добавьте 10 баллов к Вашему IQ (Ментальные Карты). Слава Смеловский Коучинг, тренинги и консультации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://smelovsky.com/mind_maps/
3. Диаграмма связей. Статья Википедии. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_связей
4. Как создать карту памяти в Xmind? Сайт «Информатика». Раздел «Практические задания». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://informatika.ru/practicum/kak_sozdat_kartu_pamyati_v_xmind.html
5. Ментальные карты — подробная инструкция. Сайт «Методики Дарова». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://darov.net/azbuka-razvitiy/mind/132-mindmap.html>
6. Метод «Диаграмма связей». Центр креативных технологий. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.inventech.ru/pub/methods/metod-0016/>
7. Тони и Барри Бьюзен. Супермышление. The Mind Map Book. — М.: Попурри. — 2007. — с. 320

Изучение макросов в OpenOffice.org

Козинцева Екатерина Александровна, магистр фуп
Воронежский государственный педагогический университет

Одним из основных требований, предъявляемых к современному специалисту, практически в любой сфере деятельности является умение пользоваться персональным компьютером и знание основных офисных программ.

В недавнее время возникла проблема, связанная с программным обеспечением, используемым в учебных учреждениях.

На сегодня в школе, как и в некоторых других сегментах рынка, преобладают закрытые операционные системы и платформы (Windows), и прикладные программные продукты (Microsoft Office, Adobe Photoshop, Corel Draw и др.) Однако данное программное обеспечение требует значительных денежных средств на их приобретение. В связи с этим, разрабатывается концепция перехода учебно-воспитательного процесса школы на свободное программное обеспечение, которое практически ни в чем не уступает по своим функциональным возможностям проприетарному ПО, а в некоторых аспектах и превосходит его.

Правительство РФ распоряжением от 17 декабря 2010 года №2299-р утвердило план перехода федеральных органов исполнительной власти и федеральных бюджетных учреждений на использование свободного программного обеспечения на 2011–2015 годы. Внедрением СПО в госорганах занимаются Минкомсвязи и структуры Минобразования — они снабжают школы бесплатным программным обеспечением на базе одной из разновидностей СПО, системы Linux.

Операционная система Linux содержит достаточно большой пакет офисных приложений таких как:

Writer (текстовый процессор);
Draw (графический редактор);
Impress (система презентаций);
Base (база данных);
Math (редактор формул) и т. д.

Появление свободного пакета OpenOffice.org представляет реальную альтернативу монополии Microsoft. OpenOffice.org — это полноценный офисный пакет, совместимый с Microsoft Office.

Возможности офисного пакета OpenOffice.org легко расширить, написав макрос, реализующий недостающий функционал. Это можно сделать, вооружившись API OpenOffice.org и выбрав язык программирования: OOBasic (встроенный в OpenOffice.org), Java, JavaScript или Python.

В таблице 1 перечислены языки, доступные для разработки макросов в каждом офисном пакете.

Макросы — программы, которые автоматизируют задачи и могут быть внедрены в документ. Макрос поможет автоматизировать действия, которые потребовали бы длительных ручных манипуляций с возможными ошибками. С помощью макросов создаются пользовательские меню, диалоговые окна и панели инструментов, улучшающие и изменяющие интерфейс приложений. Пример простого макроса — «вывод» вашего адреса.

Язык программирования OOBasic может быть разделен на четыре компонента:

1. Язык OOBasic: определяет элементарные лингвистические конструкции, например, для определения переменных, циклов и функций;
2. Библиотека времени выполнения: обеспечивает стандартные функции, которые не имеют никакой прямой связи с OpenOffice.org, например, функции для редактирования чисел, строк, значений данных, и файлов;
3. OOo API (Интерфейс прикладного программирования): обеспечивает доступ к документам OpenOffice.org, а также позволяет их создавать, изменять, сохранять и печатать;
4. Редактор Диалогов: позволяет создавать диалоговые окна и обеспечивает возможность добавления элементов управления и обработчиков событий.

В OpenOffice.org программы, логически связанные между собой, сохраняются в модуле. Логически связанные модули сохраняются в библиотеках, а библиотеки — в контейнерах библиотек.

В OpenOffice.org имеется встроенная программа-регистратор, которая может запоминать все действия пользователя с документом и на основе их создавать программный код, который записывается в модуль.

Таблица 1

Язык	ООо	MSO	WP
Basic-производный язык	OOBasic	VBA	VBA
Beanshell	да	нет	нет
Java	да	нет	нет
JavaScript	да	нет	нет
Python	да	нет	нет

Перед созданием макроса в макрорегистраторе необходимо тщательно продумать, что планируется делать и в какой последовательности. Далее нужно проверить, нет ли готовой команды. Просмотреть готовые команды можно через пункт меню Сервис → Настройка, выбрав в отрывшемся окне закладку Панели инструментов.

Макрорекордер (или просто «рекордер») записывает все действия пользователя, включая ошибки и неправильные запуски. Когда программа воспроизводит макрос, она выполняет каждую записанную рекордером команду точно в такой последовательности, в которой она выполнялась во время записи. Первые макрорекордеры имели серьезный недостаток. Если во время записи длинной последовательности действий была допущена ошибка, то единственной возможностью удалить эту ошибку являлась повторная запись макроса. Кроме того, если надо было внести небольшое изменение в длинный макрос, то также приходилось перезаписывать весь макрос. Перезапись длинного макроса часто приводила к дополнительным ошибкам в новой записи. По этим причинам разработчики программного обеспечения добавили макрорекордерам возможность редактирования макросов, чтобы можно было легко исправлять небольшие ошибки или вносить другие изменения в макрос без его полной перезаписи.

Ограничения макрорегистратора:

- открытие окон не регистрируется.
- действия, выполненные в других окнах (где регистратор не запущен), не регистрируются.
- переключение окон не регистрируется.
- действия, не связанные с содержимым документа, не регистрируются. Например, изменения, внесенные в диалоговое окно «Параметры», организатор макросов, настройки.
- выделения регистрируются только в том случае, если они выполняются с помощью клавиатуры (перемещением курсора), но не регистрируются при использовании мыши.

— макрорегистратор работает только в Calc и Writer.

Обычно макрос содержит следующие элементы.

Ключевое слово Sub. Этим обозначается начало макроса. Из-за ключевого слова Sub (от англ subroutine — подпрограмма) командные макросы также называются процедурами-подпрограммами.

Имя макроса. После ключевого слова Sub добавляет имя макроса.

Комментарии. Первые несколько строк кода начинаются с апострофа «'», которые говорят редактору, что эти строки являются комментариями. Комментарии отображаются только в окне редактора, при выполнении макроса они не обрабатываются. В каждом записанном макросе в комментариях указывается имя макроса, а также описание, которые вы ввели в диалоговом окне «Запись макроса».

Макрооператоры. Основное тело макроса (другими словами, строки между ключевыми словами Sub и End Sub, исключая комментарии в начале макроса) состоит из последовательности операторов. Они являются интерпретацией действий, которые вы выполнили во время записи макроса.

Строки макроса в модуле являются обычным текстом, который можно изменять так же, как это делается в любом текстовом редакторе. Если макрос содержит операторы, которые необходимо удалить, можно просто удалить лишние строки из модуля.

В учебном пособии Н.Д. Угриновича за 9 класс «Информатика и ИКТ» ООBasic рассматриваются в главе «Основы алгоритмизации и объектно-ориентированного программирования». Здесь используют такие практические задания как: «Знакомство с системами объектно-ориентированного и алгоритмического программирования», «Проект Переменные», «Проект Калькулятор», «Проект Строковый калькулятор», «Проект Даты и время», «Проект Сравнение кодов», «Проект Отметка», «Проект Коды символов», «Проект Слово-перевертыш».

Анализ рекомендованных Минобрнауки РФ учебников показал, что в остальных учебных пособиях ООBasic не рассматривается.

Мною созданы конспекты уроков, которые позволяют ученикам, научиться применять макросы в OpenOffice Calc. Были разработаны такие конспекты как: Автоматическое создание макросов, Лабораторно-практическая работа «Создание макросов», Лабораторно-практическая работа «Создание функций», Лабораторно-практическая работа «Условные и циклические операторы». В этих уроках ООBasic рассматриваются не как программа для программирования, а как полезная дополнительная функция. Для этого не обязательно быть программистом. Итак, макросы можно использовать в двух случаях: для автоматизации рутинных повторяющихся действий, либо для того чтобы добавить не достающие функции.

Литература:

1. Угринович, Н.Д. Информатика и ИКТ: учебник для 9 класса/Н.Д. Угринович, Л.Л. Босова, Н.И. Михайлова — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. — 295 С.
2. Питоньяк Эндрю OpenOffice.org Объяснение Макросов: учеб. пособие/Э. Питоньяк: 2004. — 522 С.
3. Бейн, М.А. Изучение программирования макросов для электронных таблиц в OpenOffice.org OOo Basic и Автоматизация Calc: учеб. пособие/М.А. Бейн:2008. — 151 С.
4. Малев, В.В. Общая методика преподавания информатики: учеб. пособие./В.В. Малев — Воронеж: ВГПУ, 2005. — 271 С.

Разработка в оболочке RuleBook экспертной системы «Лаборант лаборатории информационных технологий»

Кононова Маргарита Андреевна, студент;

Вихляев Сергей Алексеевич, студент;

Фендрикова Екатерина Ивановна, студент

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема (г. Биробиджан)

В статье рассмотрена работа в оболочке экспертных систем Exsys RuleBook. Предложены правила для создания дерева решений для системы «Лаборант лаборатории информационных технологий».

Ключевые слова: экспертная система, знание, правила, работа, лаборант, разработка, технология.

Одной из важных задач современных информационных технологий является формализация знаний. Разрабатываются системы позволяющие упростить этот сложный процесс. Одну из концепций, реализующей такой аспект, показывает технология экспертных систем (ЭС). Решение рассматриваемых задач возможно через программирование на языках высокого уровня или с помощью оболочек. Поэтому применение оболочки экспертной системы для формализации знаний является актуальным.

Экспертные системы — это системы искусственного интеллекта, предназначенные для решения задач в проблемных областях, на основе заложенных в них знаний специалистов-экспертов. В настоящее время ЭС внедряются в различные виды человеческой деятельности, где использование точных математических методов и моделей затруднительно [10]. Такой трудно формализуемой задачей является определение неполадок в компьютерной лаборатории. Так как в лабораториях университета функционирует несколько информационных систем [4, 5, 6, 7] и лаборанты часто меняются, то возникают проблемы быстрого реагирования на запросы преподавателей, устранения мелких неисправностей в компьютерной сети, настройки программ. Для решения рассматриваемой задачи было предложено разработать простую систему оказания консультативной помощи новым или неопытным сотрудникам лаборатории.

Изучением и разработкой экспертных систем занимались российские и зарубежные ученые. О.И. Акимов рассмотрел подходы к построению модели экспертных систем оценки качества автоматизированных информационных систем документооборота мелких и средних предприятий [1]. Р.И. Баженов, Д.К. Лопатин показали интеграцию различных технологий при разработке интеллектуальных систем [2, 3, 8]. С.Г. Гончарова, И. ФМесягутов, Г.Н. Ахметшина показали экспертную систему для поддержки принятия решений при проектировании систем управления [9]. Экспертная система диагностирования силовых трансформаторов систем электроснабжения являлась предметом разработки И.А. Коптеловой, И.М. Силкина [11]. С.А. Петров исследовал возможности применения экспертных систем при анализе и настройке систем компьютерной безопасности [12]. Экспертную си-

стему оценки результатов разработки и внедрения автоматизированных систем описал В.Н. Ружников [13]. С.А. Солод, В.В. Новиков, Е.С. Чапова показали применение экспертных систем в системе управления безопасностью труда на предприятиях машиностроения [14]. Методология экспертных систем в анализе надежности сложных технических систем представлена Н.К. Юрковым, В.Б. Алмаметовым, Ю.А. Држевецким [15]. Применение экспертных систем в различных трудноформализуемых областях привели зарубежные ученые [16, 17, 18].

Для реализации была выбрана программный продукт Exsys RuleBook. Оболочка экспертной системы Exsys RuleBook представляет собой интеллектуальную систему, которая может быть использована для разработки базы знаний для различных предметных областей. Знания представляются в виде продукционных правил (если-то). В оболочку включены средства отладки и тестирования программы, редактирования для модификации знаний и данных [2, 3].

Основной частью экспертной системы является база знаний, которая может модернизироваться в процессе развития системы. База знаний в Exsys RuleBook содержит правила двух типов:

1. **IF** (условие) **THEN** (заключение);
2. **IF** (условие) **THEN** (заключение 1) **ELSE** (заключение 2).

Представим небольшое множество правил, которые помогут неопытному лаборанту освоиться в работе.

Введем название предметной области — «Лаборант лаборатории информационных технологий».

Далее необходимо выбрать шкалу вероятности. В рассматриваемом примере будет шкала Yes/No.

Варианты ответов задаются в окне CHOICES (рис. 1).

Варианты вопросов определяются с помощью окна FACTORS (рис. 2).

Необходимое редактирование лучше делать на странице Trees. Так намного проще выстроить дерево решений.

Приведем пример использованного правила (Rule 1), спроектированного в системе:

IF:

Вы лаборант сетевых лабораторий? да

and *У вас возникли неполадки с машиной (ми)? да*

Choices:

- 1: Можете найти решение в Интернете, можете просить помощи у инженера (нач
- 2: Обратитесь к инженеру (начальнику). Он точно скажет что вам делать.
- 3: Я думаю, что Вам здесь делать нечего. До свидания.
- 4: Переустановите программу
- 5: Зайдите под администратором и дайте права на папку с программой другому
- 6: Проверьте подключён ли кабель. Проверьте наличие всех драйверов. Устано
- 7: Вскройте корпус и вытащите и воткните обратно батарейку от биоса. Парол
- 8: Попросите программу для сброса паролей у инженера. Либо найдите способ
- 9: Вы вообще с нашего факультета??? Пароль 123456
- 10: Как правило пароль от Касперского такой же как и от Администратора. Ес
- 11: Инженер вам даст ключ. Если его нет - зайдите в Отдел информатизации (

Рис. 1. Окно вариантов ответов Choices

Factors:

Text

- 1: Вы лаборант сетевых лабораторий?
- 2: У вас возникли неполадки с машиной(ми)?
- 3: Вы знаете какого рода неисправность? (ПО/железо)
- 4: ПО?
- 5: У вас возникли проблемы с программой?
- 6: Вы зашли под администратором?
- 7: У вас возникли проблемы с сетью?
- 8: Возникли проблемы с паролем на BIOS?
- 9: Возникли проблемы с паролем администратора?
- 10: Возникли проблемы с паролем от Студента?
- 11: Проблемы с паролем от Касперского?
- 12: Проблемы с ключом от Касперского?

Рис. 2. Окно вариантов ответов Factors

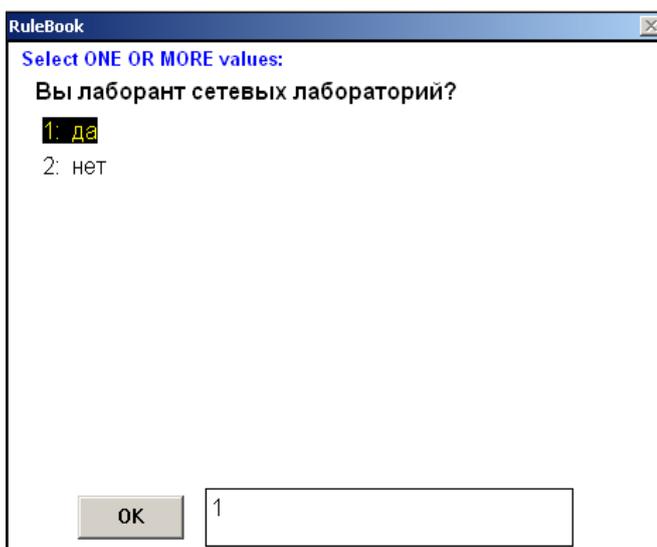


Рис. 3. Окно диалога с системой

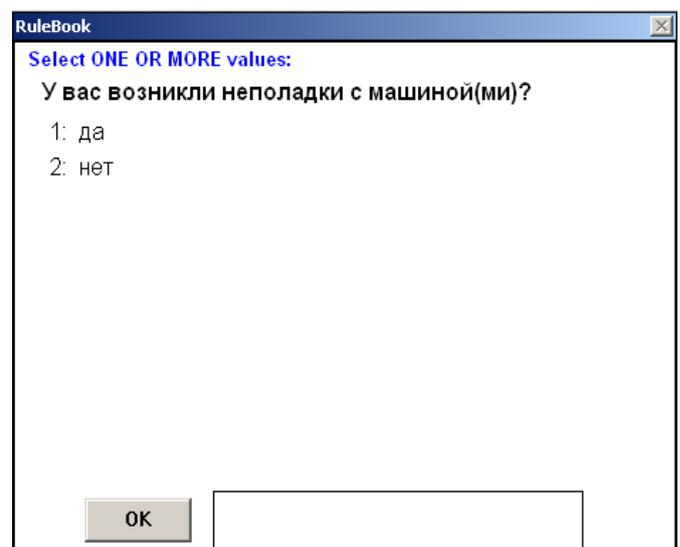


Рис. 4. Второй вопрос. Продолжение диалога

*and Вы знаете какого рода неисправность?
(ПО/железо) да*

and ПО? да

THEN:

*Можете найти решение в интернете, можете
просить помощи у инженера (начальника).*

В ходе диалога программа выдаёт всплывающие окна, где содержится вопрос (адресованный пользователю) и варианты ответа (рис. 3 на стр. 85).

В случае ответа «да» на первый вопрос система продолжит с пользователем диалог до тех пор, пока не будет найдено решение (рис. 4 на стр. 85).

В результате проведенного исследования оболочек ЭС была проектирована и разработана в Exsys Rule-Book экспертная система «Лаборант лаборатории информационных технологий». Предложенная система была протестирована в реальной работе и показала свою эффективность.

Литература:

1. Акимов, О.И. Подходы к построению модели экспертных систем оценки качества автоматизированных информационных систем документооборота мелких и средних предприятий // Ученые записки ИИО РАО. 2008. №28. с. 312–313.
2. Баженов, Р.И. Интеллектуальные информационные технологии. Биробиджан: ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2011. 176 с.
3. Баженов, Р.И. Представление знаний в информационных системах. Лабораторный практикум. — Биробиджан: Изд-во ДВГСГА, 2006. — 156 с.
4. Баженов, Р.И., Векслер В.А. Реализация XYZ-анализа в программном коде внутреннего языка программирования 1С: Предприятие 8.3 // Информатизация и связь. 2014. № 1. с. 35–40.
5. Баженов, Р.И., Векслер В.А. Анализ потребительских корзин в 1С: Предприятие на примере ABC-анализа // Информатизация и связь. 2013. №5. с. 117–123.
6. Баженов, Р.И., Гринкруг Л.С. Информационная система абитуриент-деканат ФГБОУ ВПО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема» // Информатизация и связь. 2013. №2. с. 97–99.
7. Баженов, Р.И., Гринкруг Л.С. Информационная система по расчету и распределению нагрузки профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО «Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема» // Информатизация и связь. 2012. №5. с. 75–78.
8. Баженов, Р.И., Лопатин Д.К. О применении современных технологий в разработке интеллектуальных систем // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2014. №3 (93). с. 263–264.
9. Гончарова, С.Г., Месягутов И.Ф., Ахметшина Г.Н. Экспертная система для поддержки принятия решений при проектировании систем управления // Автоматизированные технологии и производства. 2014. Т. 6. с. 58–62.
10. Джексон, П. Введение в экспертные системы. — М.: Вильямс, 2001. — 624 с.
11. Коптелова, И.А., Силкин И.М. Экспертная система диагностирования силовых трансформаторов систем электроснабжения // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 8. №3. с. 104–107.
12. Петров, С.А. Исследование возможностей применения экспертных систем при анализе и настройке систем компьютерной безопасности // Сборник научных трудов Sworld. 2012. Т. 2. №2. с. 71–75.
13. Ружников, В.Н. Экспертная система оценки результатов разработки и внедрения автоматизированных систем // Сборник научных трудов Ангарской государственной технической академии. 2007. Т. 1. №1. с. 122–131.
14. Солод, С.А., Новиков В.В., Чапова Е.С. Применение экспертных систем в системе управления безопасностью труда на предприятиях машиностроения // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10. №3. с. 410–416.
15. Юрков, Н.К., Алмаметов В.Б., Држевецкий Ю.А. Методология экспертных систем в анализе надежности сложных технических систем // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2010. Т. 2. с. 439–440.
16. Bucur S.-M., Chibelea M., Gligor A., Pacurar M. Expert System for Determining the Level of Stress before Pediatric Dental Treatment // Procedia Technology. 2014. Vol. 12. P. 548–557.
17. Correal, R., Pajares G., Ruz J.J. Automatic expert system for 3D terrain reconstruction based on stereo vision and histogram matching // Expert Systems with Applications. 2014. Vol. 41, Iss. 4, Part 2. P. 2043–2051.
18. Frantti, T., Majanen M. An expert system for real-time traffic management in wireless local area networks // Expert Systems with Applications. 2014. Vol. 41, Iss. 10. P. 4996–5008.

Применение графических процессоров для параллельных вычислений

Курушина Алена Сергеевна, магистрант
Волгоградский государственный университет

Статья описывает актуальность использования параллельных технологий на основе графических процессоров. Рассмотрена задача гравитационного взаимодействия N-тел. Для анализа ускорения использованы различные графические процессоры.

Ключевые слова: CUDA, гравитационное взаимодействие, ускорение, Tesla C1061.

Целью данной работы являлась реализация задачи N-тел прямым методом (PP — «частица-частица»), где учитывается гравитационное взаимодействие всех частиц друг с другом, на основе вычислительного кода и последующее применение параллельной технологии CUDA для ускорения выполнения расчетной части кода.

Актуальность данной работы обусловлена тем, что современные численные модели становятся всё более затратными с точки зрения вычислительных возможностей. В связи с этим параллельные технологии приобретают всё большую распространённость. Особый интерес на сегодняшний день представляют вычисления на графических процессорах.

Прямой метод расчета взаимодействия всех частиц представляется наиболее простым и понятным для реализации и обеспечивает наилучшую точность вычисления гравитационной силы. Но в то же время он требует наибольших машинных ресурсов, поскольку каждая частица взаимодействует с каждой. Исходя из этих особенностей, данный метод можно использовать для создания тестовой модели для проверки наиболее важных принципиальных результатов [1]. Главным преимуществом этой модели будет возможность определять значения нужных параметров с такой же точностью, что и арифметическая точность ЭВМ.

Численная модель была построена на основе закона тяготения Ньютона, в случае аддитивности сил гравитации, который описывает попарное взаимодействие всех точек системы. При этом задается некоторое начальное распределение векторов скоростей и радиус-векторов. Для программной реализации данной модели использовалась численная схема Эйлера второго порядка точности по времени. Полученная численная схема описывается следующей системой уравнений:

$$\vec{v}_i^{n+1} = \vec{v}_i^n + \vec{f}_i^n \Delta t,$$

$$\vec{r}_i^{n+1} = \vec{r}_i^n + \vec{v}_i^{n+1} \Delta t,$$

где v — скорость движения частицы,

r — радиус частицы,

f — гравитационная сила,

Δt — шаг по времени.

На основе численной схемы была реализована компьютерная модель, описывающая соответствующее гравитационное взаимодействие. Для дальнейшего тестиро-

вания были написаны два алгоритма: последовательный и параллельный.

Для построения параллельной схемы использовалась технология распараллеливания на графических процессорах. CUDA представляет собой неграфические вычисления на графических процессорах. Используя особенности архитектуры GPU, она позволяет в разы, в десятки раз, ускорять программы, выполняемые на CPU. Ядра CPU созданы для исполнения одного потока последовательных инструкций с максимальной производительностью, в то время как GPU проектируются для быстрого исполнения большого числа параллельно выполняемых потоков инструкций.

Модель программирования CUDA предполагает группирование потоков. Потоки объединяются в блоки потоков — одномерные или двумерные сетки потоков, взаимодействующих между собой при помощи разделяемой памяти и точек синхронизации.

Для проверки релевантности результатов, получаемых в ходе работы программы, использовалось точное аналитическое решение задачи двух тел. Для ситуации, когда два тела равной массы, в начальный момент времени имеют вектора скоростей, ортогональные линии, соединяющей их, и направлены в противоположные стороны, траектория движения тел будет представлять собой две концентрические окружности (или эллипсоиды). Подобную ситуацию можно увидеть на рисунке 1, отображающем результат работы тестовой программы. Последовательная и параллельная программа показали полностью идентичные результаты.

Так как программа в дальнейшем будет использована в научных расчетах гравитационного взаимодействия бесстолкновительных звездных систем, представляющих собой галактические диски, в каждой из программ начальные условия загружаются из внешнего файла данных, заранее сформированного специальным программным комплексом, отвечающим за корректное начальное распределение тел системы.

Для тестирования получаемого ускорения на графическом процессоре использовались GPU различного класса, а именно:

GeForce 9400 GT (офисная видеокарта для ПК);

GeForce GT 555M (мощная видеокарта для ноутбуков);

Tesla C1061 (видеокарта, предназначенная для специализированных неграфических вычислений).

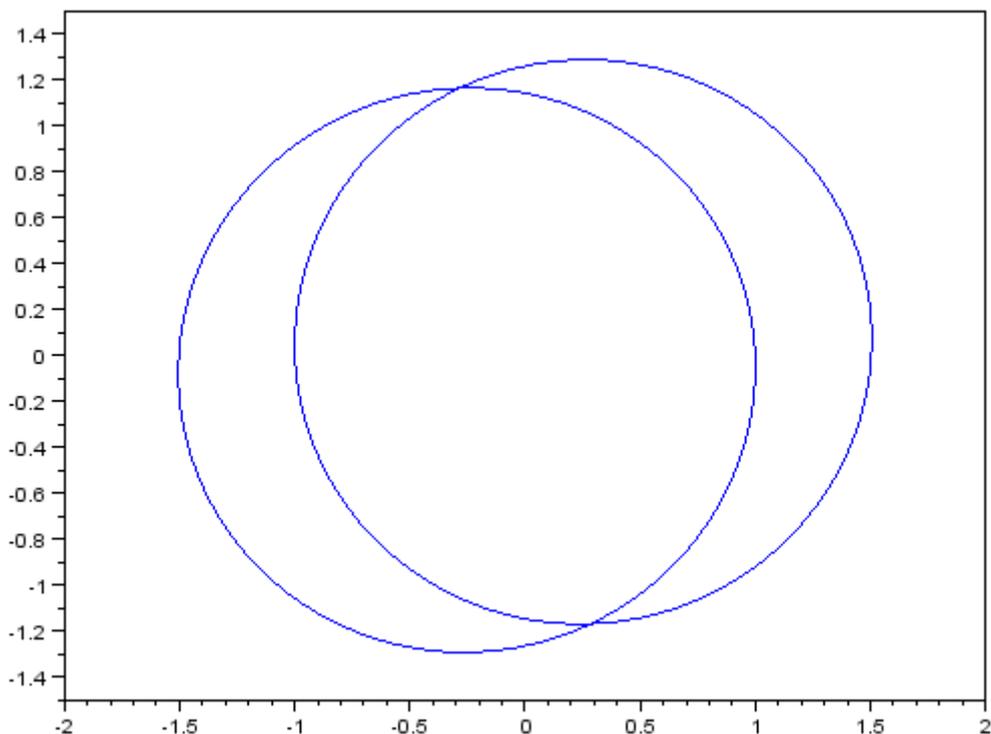


Рис. 1. Гравитационная задача двух тел

Таблица 1. Время выполнения расчетов

Кол-во частиц	Intel Core i5	GT 9400	GT 555M	Tesla C1061
1024	26	18,00	0,90	2,63
4*1024	425	183,00	6,00	11,00
8*1024	1750	681,00	22,0	25,00
10*1024	2843	1043,00	38,00	32,00

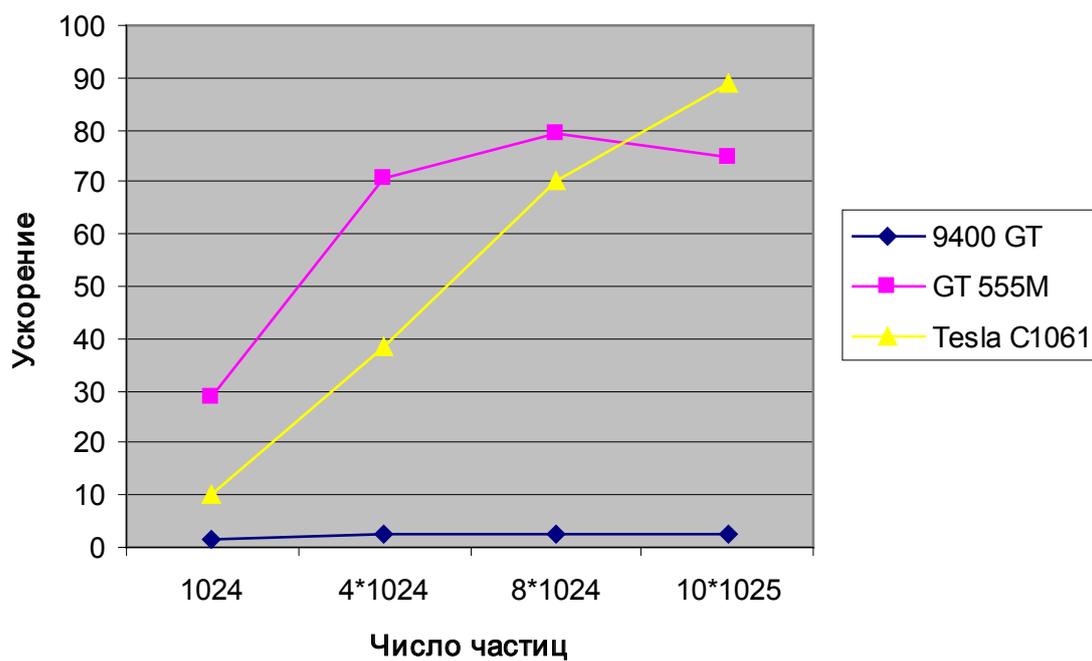


Рис. 2. Полученное ускорение

Производительность вычислений на этих устройствах сравнивалась с расчетными мощностями центрального процессора Intel Core i5 на одном ядре. Для тестирования производились расчеты на нескольких вариантах начальных данных, отличающихся количеством гравитирующих тел. Результаты, представленные в виде времени (миллисекунды) выполнения одной итерации внешнего цикла, показаны в таблице 1.

Из полученных данных видно, что достигается ускорение в несколько десятков раз. Для более наглядного отображения информации представлен рисунок 2, показывающий результирующее ускорение работы программы на GPU в сравнении с CPU.

Из данного графика видно, что пиковое ускорение примерно в 80 раз на карте GT 555M достигается при 8192 частицах. В то время как максимум производительности картой Tesla C1061 для построенного алгоритма не был достигнут.

В процессе тестирования были получены результаты, показывающие многократное ускорение выполнения программы, решающей гравитационную задачу N-тел, при использовании параллельных технологий, основанных на вычислительных особенностях графических процессоров. Это показывает, что данная технология достаточно актуальна на сегодняшний день и позволяет получать значительный прирост производительности.

Литература:

1. Морозов, А. Г., Хоперсков А. В. Физика дисков. — Волгоград, 2005.
2. Jason Sanders, Edward Kandrot CUDA by Example An Introduction to General-Purpose GPU Programming — 2010.

Функциональная модель процесса «Хирургическое лечение»

Михеев Иван Сергеевич, магистрант
Новосибирский государственный технический университет

Functional model of 'Surgical treatment' process

I. S. Mikheyev

Object of research. Public health is a field, where issues and outcomes of many other fields overlap, focus and are concentrated. High satisfaction level of patients depends on all those fields, also on high level of organization and management of the key business processes, which improve quality, safety and efficiency of treatment. Process-oriented management, a modern approach, is considered in the article as the management paradigm in the public health field. Computer systems based on the process approach to management of business process are known as BPM-systems. 'Surgical treatment' as one of the key business processes demonstrates modeling possibilities of implementing the concept of BPM to increase the process efficiency. Modeling is done in BPMN notation in the new standard for modeling of business processes and network services in the latest version BPMN 2.0 produced in 2010. Bizagi BPM Suite is used as modeling environment. The article presents the functional and imitation models of the business process 'Surgical treatment'; it formulates criteria and shows opportunities of quantitative assessment of efficiency values of the business process. The obtained results can be used strategically for modeling purposes and for planning and supervising of deviations and their periods, for the analysis of the process results, and they can also be used as an electronic regulation.

Key words: process efficiency, public health, process approach, business-process, BPM, Surgical treatment, decision making, Bizagi BPM Suite, functional modeling, imitation modeling, scenarios.

Здравоохранение — это такая сфера, где пересекаются, фокусируются и концентрируются проблемы и результаты множества областей. Высокая удовлетворенность пациентов зависит от всех этих областей, в том числе и от высокой организации и управления ключевыми бизнес-процессами, которые повышают качество, безопасность и продуктивность лечения. В статье, в качестве парадигмы управления в области здравоохранения

рассматривается современный подход — управление, ориентированное на процессы. Компьютерные системы, основанные на процессном подходе к управлению бизнес-системами, получили название BPM-системы. В статье, на примере одного из ключевых бизнес-процессов «Хирургическое лечение» показаны возможности реализации концепции BPM в части моделирования с целью повышения эффективности процесса. Моделирование выпол-

нено в нотации BPMN, в новом стандарте для моделирования бизнес-процессов и сетевых услуг в последней версии BPMN 2.0, которая вышла в 2010 году. В качестве среды моделирования используется приложение Bizagi BPM Suite. В статье представлена функциональная и имитационная модели бизнес-процесса «Хирургическое лечение» и сформулированы критерии.

Ключевые слова: эффективность, управление, принятие решения, здравоохранение, процессный подход, бизнес-процесс, BPM, хирургическое лечение, Bizagi BPM Suite, функциональное моделирование, имитационное моделирование, сценарии.

Введение

Ориентация компаний на эффективное выполнение отдельных функций привела за прошедшее десятилетие к локальной оптимизации и усовершенствованию функциональных областей [1]. Внедрение новых информационных, коммуникационных технологий, организационных концепций, например, аутсорсинг, незначительно повысило эффективность компаний в целом. Каждая из функциональных областей не заинтересована в общих результатах, поскольку системы их оценки оторваны от результатов компании в целом. Чем автономнее области, тем выше расходы на согласование управляющих и координирующих воздействий между ними, соответственно увеличивается время принятия решения и усложняется процесс обмена информацией.

Здравоохранение это такая сфера, в которой пересекаются, фокусируются и концентрируются результаты деятельности множества функциональных областей, а, следовательно, и все выше перечисленные проблемы.

Современная целевая (таргетная) медицина представляет собой интегрированную систему всестороннего лечения пациента, которая должна эффективно и своевременно решать его проблемы. Высокая степень удовлетворенности пациентов объясняется, в частности, оптимизацией всех процессов лечебного учреждения и созданием инфраструктуры, повышающей качество, безопасность и продуктивность решения. Все действия единой сложной системы должны быть направлены на предоставление не только эффективного, но и безотлагательного лечения [2].

Сегодня именно процессный подход к управлению позволяет решить те задачи, которые стоят перед здравоохранением [3].

1. Описание функциональной модели процесса «Хирургическое лечение»

Процесс «Хирургическое лечение» [4] является одним из самых ответственных для любой клиники. Он пронизывает следующие подразделения организационной структуры: отделение анестезиологии, операционный блок, отделение реанимации, отделение интенсивной терапии, хирургическое отделение.

Цель моделирования — определить оптимальный вариант модели процесса. В качестве критериев предлагаются следующие:

$$K = \{K1, K2, K3, K4\}, \quad (1)$$

где K1 — временной, K2 — стоимостной, K3 — загруженность персонала, K4 — оценка загруженности инфраструктуры.

В соответствии с критериями вводится система показателей:

$$PK1 = \{PK11, PK12, PK13, PK14\}, \quad (2)$$

где PK11 — среднее время проведения операции, PK12 — максимальное время ожидания операции, PK13 — среднее время проведения полного лечения, PK14 — среднее время нахождения пациента в операционном блоке включая палату реанимации и палату интенсивной терапии.

$$PK2 = \{PK21, PK22\}, \quad (3)$$

где PK21 — общая стоимость процесса, PK22 — расходы на медперсонал,

$$PK3 = \{PK31, PK32, PK33\}, \quad (4)$$

где PK31 — средняя загруженность персонала хирургического отделения, PK32 — средняя загруженность персонала операционного блока, PK33 — средняя загруженность персонала реанимационного отделения.

$$PK4 = \{PK41, PK42, PK43, PK44\}, \quad (5)$$

где PK41 — загруженность палат в отделении, PK42 — загруженность операционного блока, PK43 — загруженность реанимационного отделения, PK44 — загруженность отделения интенсивной терапии.

В качестве управляемых переменных было выбрано количество доступного персонала для реализации процесса.

Определены следующие ключевые роли: лечащий врач, врач анестезиолог, хирург и реаниматолог. Также на этапах, по мере необходимости, принимают участие медсестры и врачи-консультанты

Под «сущностями» в работе понимаются элементы инфраструктуры, к которым относятся: вместимость отделения, количество операционных столов, общее количество мест в палатах реанимации и интенсивной терапии.

На рис. 1 представлена функциональная модель процесса «Хирургическое лечение».

«Хирургическое лечение» является сложным процессом, состоящим из 12 блоков, задействующих множество человеческих и материальных ресурсов. Вследствие его сложности и большой различности, возникает необходимость в моделировании данного процесса для обеспечения его высокой эффективности.

Сам процесс состоит из нескольких этапов. Вначале следует уведомление пациента о необходимости операции, после чего необходимо получить его согласие. Как только согласие пациента получено, лечащий врач начинает консультироваться у узких специалистов о лучшем способе лечения и оперативного вмешательства. Далее действует анестезиолог, и назначает подходящий способ анестезии. Затем, лечащий врач согласовывает, дату операции

со всеми необходимыми врачами и дает поручение — подготовить пациента к операции.

После окончания операции, в зависимости от состояния, пациент переводится в реанимационное отделение до стабилизации состояния или в палату интенсивной терапии, где проходит курс реабилитации после операции и затем переводится обратно в отделение, где лечащий врач отслеживает изменения в здоровье. В случае если все в порядке, пациента выписываю, если нет, то проводят дополнительные обследования.

Литература:

1. Менеджмент процессов. Под редакцией Й. Беккера, Л. Волкова, В. Таратухина, М. Круглера, М. Роземана. — М: 2006. — 181 с.
2. Л. Берри, К. Селтман./Легендарная клиника Мэйо: уроки лучшей в мире сервисной организации. пер. с англ. А. Козлова. Ляссе.
3. Моделирование бизнес-процессов: учеб. пособие/В. Г. Мамонова, Н. Д. Ганелина, Н. В. Мамонова. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. — 43 с.
4. М. А. Садовой, И. Ю. Бедорева. Система менеджмента качества в учреждении здравоохранения. Новосибирск: АНО «Клиника НИИТО», 2007. — 320 с.
5. Управление процессами. Часть 1. Подготовка бизнес-процессов к моделированию. Инструменты моделирования: учеб. пособие/В. Г. Мамонова, И. Н. Томилов, Н. В. Мамонова. — Новосибирск: Из-во НГТУ, 2014. — 96 с.

Заключение

В работе представлена функциональная и имитационная модели процесса «Хирургическое лечение», реализованные в нотации BPMN в среде моделирования Bizagi BPM Suite. Определены цели, критерии, показатели, позволяющие оценить эффективность процесса для лечебного учреждения. Разработанные сценарии имитации позволили выбрать эффективный вариант модели процесса.

Автоматизация процесса расчета эффективной процентной ставки по кредиту для кредитного отдела коммерческого банка

Пушкарев Андрей Александрович, студент;
Научный руководитель Богданова Ольга Борисовна, научный сотрудник
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса

В настоящее время в связи политикой противодействия отмыванию денег и финансированию терроризма и законодательства РФ актуальна проблема оценки и проверки кредитными учреждениями кредитоспособности клиентов на момент выдачи кредита [1].

Кредитоспособность клиента коммерческого банка — способность заемщика полностью и в срок рассчитаться по своим долговым обязательствам (основному долгу и процентам). Уровень кредитоспособности клиента определяет степень риска банка, связанного с выдачей ссуды конкретному заемщику [2].

Кредитоспособность клиента в совокупности представляет собой обобщение показателей платежеспособности и благонадежности клиентов.

Платежеспособность клиента — это показатель его материального благосостояния, т. е. физическая возможность заемщика вносить кредитные платежи и проценты за использование заемных средств [2].

Благонадежность — это желание клиента честно выполнять условия кредитования. Благонадежность клиента на сегодняшний день может быть проверена путем изучения его кредитной репутации [2].

Дело в том, что на каждого банковского заемщика, хотя бы раз в жизни оформлявшего кредит, заводится особое «досье» — кредитная история, в которой содержится информация обо всех кредитных взаимоотношениях данного клиента и банковских учреждений. Если кредитная история заемщика безупречна, то уровень его благонадежности будет оценен как очень высокий, причем, чем больше кредитов было возвращено заемщиком без погрешностей, тем выше будет оценена благонадежность кредитополучателя.

В случае если, клиент будет признан платежеспособным, но его благонадежность вызовет у кредитного учреждения сомнения, вероятность выдачи кредита такому клиенту будет крайне мала.

В целях реализации положений Федерального закона от 7 августа 2001 года «О противодействии легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма» № 115-ФЗ и нормативных актов Банка России кредитные учреждения в виду своих генеральных лицензий, на осуществление банковских операций, обязаны достоверно проверять кредитоспособность клиентов [1].

Способами оценки кредитоспособности клиента банка являются [3]:

- оценка менеджмента;
- оценка финансовой устойчивости клиента;
- анализ денежного потока;
- сбор информации о клиенте;
- наблюдение за работой клиента путем выхода на место.

Специфика оценки кредитоспособности юридических и физических лиц, крупных, средних и мелких клиентов определяет комбинацию применяемых способов оценки.

Оценка кредитоспособности крупных и средних предприятий, а также физических лиц базируется на данных баланса, отчета о прибылях и убытках, кредитной заявке, информации об истории клиента и его менеджерах. В качестве методов оценки кредитоспособности используются система финансовых коэффициентов, анализ денежного потока, делового риска и менеджмента.

ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк» (далее — Банк) — один из лидеров банковской сферы Дальнего Востока (основан 4 марта 1994 г., Генеральная лицензия Банка России №2733) [4].

Приоритетные направления деятельности банка [5]:

- развитие розничного банковского бизнеса;
- реализация программы кредитования предприятий малого и среднего бизнеса.

Головной офис банка расположен в городе Владивосток.

Кредитный отдел Кредитного управления Кредитного департамента (далее — Отдел) — подразделение банка в Головном офисе (ГО), занимающееся кредитованием корпоративных клиентов (юридических лиц и индивидуальных предпринимателей) [6].

Основными целями, стоящими перед Отделом являются [6]:

- формирование диверсифицированного кредитного портфеля высокого качества с устойчивой ликвидностью в пределах установленных отделу планов и лимитов;
- получение максимально возможного дохода по кредитным операциям с наименьшими кредитными рисками;
- привлечение в Банк потенциальных заёмщиков, представляющих интерес для банка, путём предложения им кредитных продуктов.

Достижения поставленных перед Отделом целей достигаются путем решения следующих задач [6]:

- привлечение в Банк потенциальных заёмщиков, представляющих интерес для банка, путём предложения им кредитных продуктов;
- предоставление банковских кредитных продуктов юридическим лицам и предпринимателям без образования юридического лица (далее — клиенты);
- создание и укрепление на рынке мнения о Банке, как высокопрофессионального в сфере обслуживания клиентов по кредитным операциям;
- создание штата высококвалифицированного персонала по операциям, связанным с кредитованием юридического лица;

Стратегия привлечения клиентов Банка предполагает следующие направления [7]:

- привлечение клиентов через давно и успешно обслуживающихся клиентов;
- привлечение клиентов через определение следов успешной деятельности компаний в средствах массовой информации;
- привлечение клиентов через информацию о специализированных выставках, симпозиумах, конференциях;
- привлечение клиентов через информацию из регистрационных палат об образовании новых фирм, регистраций слияний, образований холдингов;
- привлечение клиентов через информацию о политических и общественных событиях в жизни города, региона;
- привлечение клиентов через сокращение времени, требуемого для вынесения решения о выдаче кредитного продукта.

Сокращение времени, требуемого для вынесения решения о выдаче кредитного продукта может быть достигнуто за счет автоматизации процессов, связанных с расчетом показателей кредитоспособности заемщика.

В Отделе кредитоспособность заемщика оценивается с помощью анализа денежного потока. Структура данного метода предполагает расчет таких показателей как:

- коэффициенты ликвидности и коэффициент независимости;
- коэффициент деловой активности и коэффициент финансовой устойчивости;
- коэффициент рентабельности;
- эффективная процентная ставка.

Задачи расчета коэффициентов ликвидности, коэффициента независимости, коэффициента деловой активности, коэффициента финансовой устойчивости, коэффициента рентабельности автоматизированы в Отделе.

На рисунке 1 представлен бизнес-процесс «Расчет кредитоспособности и экономических показателей по Клиенту».

Задача расчета эффективной процентной ставки по кредиту может быть произведена [8]:

- на момент выдачи кредита, имея условный график выдач-гашений по кредиту;
- на момент закрытия кредитного договора, имея данные об использовании кредита (история платежей).

Согласно Политике Банка расчет эффективной процентной ставки по кредиту на момент выдачи кредита имеет более весомую значимость при правильной интерпретации и анализе полученных результатов, нежели на момент закрытия кредитного договора, так как после закрытия кредитного договора корректировать и вносить изменения в кредитный договор не представляется возможности [7].

Эффективная процентная ставка — это сложная процентная ставка по кредиту, рассчитанная в предположении, что все платежи, необходимые для получения данного кредита, идут на его погашение [8].

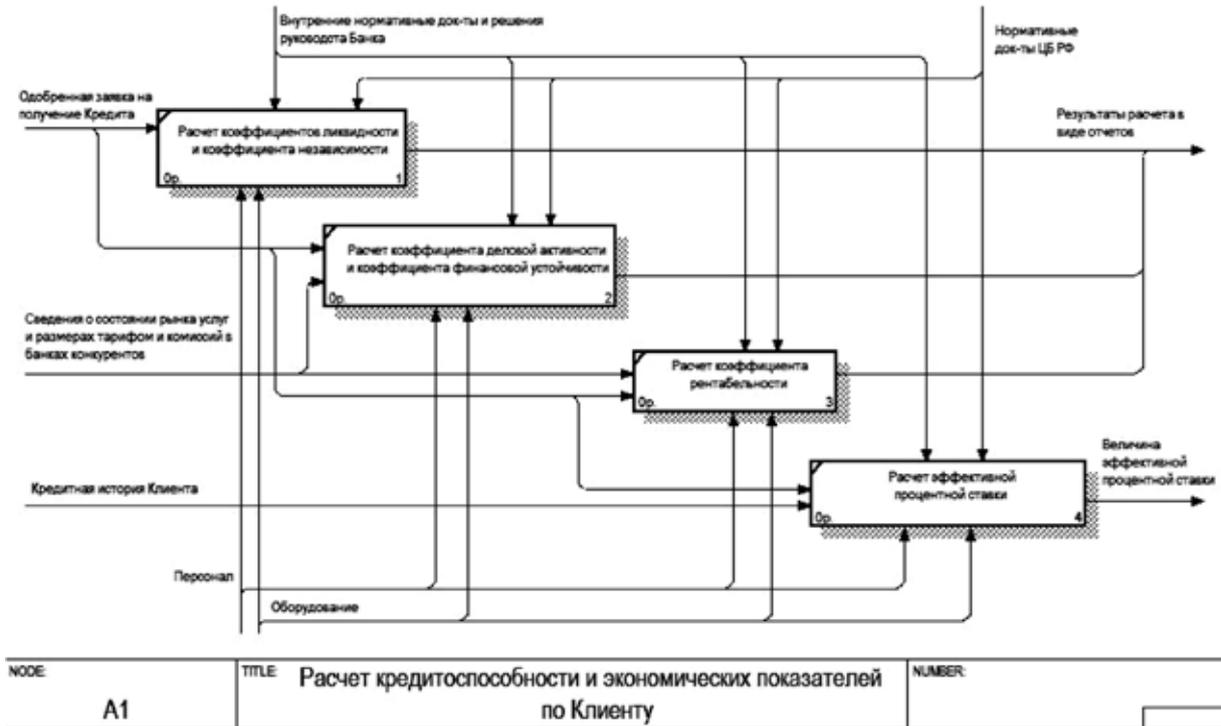


Рис. 1. Декомпозиция процесса «Расчет кредитоспособности и экономических показателей по Клиенту» A1

Эффективная процентная ставка призвана отразить все иные платежи по кредиту взимаемые Банком, такие как:

- платеж за прием в кассу наличных денег;
- платеж за открытие кредитной линии;
- платеж за возможное решение о пролонгации кредитного договора;
- платеж за составление договора-залога.

Результат расчета эффективной процентной ставки отражает фактическое использование заемщиком кредитного продукта в период срока кредитования.

Согласно положению ЦБ РФ №254-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности» (утв. Банком России 26.03.2004 N 254-П, ред. от 25.10.2013, зарегистрированным в Минюсте России 26.04.2004 N 5774; с изм. и доп., вступающими в силу с 01.03.2014) эффективная процентная ставка отражает полную стоимость кредита [9].

Задача расчета эффективной процентной ставки по кредиту (далее — ЭПС) выполнялась сотрудниками Отдела с помощью MS Excel.

Расчет ЭПС по кредиту с помощью MS Excel не представлял возможности:

- осуществлять проверку корректности использования заемщиком услуги по кредитованию, в рамках графика выдач-гашений, в зависимости от типа кредита;
- осуществлять ведение базы данных по расчетам ЭПС по кредитам;
- осуществлять формирование отчета по расчету ЭПС по кредиту, который являлся бы документальным подтверждением осуществленного ранее расчета и имел

возможность быть представленным на Кредитном Совете для принятия решения о выдаче либо отказе, в отношении конкретного заемщика услуги по кредитованию [10];

— осуществлять автоматическое формирование файла MS Excel для каждого графика выдач-гашений по расчету ЭПС по кредиту, который мог быть сохранен с уникальным именем в определенную директорию, и в случае необходимости мог быть открыт.

В результате было решено произвести поиск программного продукта, на рынке программного обеспечения, который сможет:

- сэкономить время на расчет ЭПС по кредиту;
- учесть все параметры и переменные, необходимые для точного вычисления, и как следствие повысить точность расчета;
- осуществлять проверку корректности использования заемщиком услуги по кредитованию, в рамках графика выдач-гашений, в зависимости от типа кредита;
- осуществлять ведение базы данных по расчетам ЭПС по кредитам;
- осуществлять формирование отчета по расчету ЭПС по кредиту;
- осуществлять автоматическое формирование файла MS Excel для каждого графика выдач-гашений по расчету ЭПС по кредиту, который сохраняется с уникальным именем в определенную директорию, и в случае необходимости может быть открыт в ходе работы программного продукта.

Сохранение результатов расчета ЭПС по кредиту необходимо для возможности последующего формирования отчета, который необходим для Кредитного Совета,

для того чтобы оценить выгоду для Банка от сотрудничества с клиентом.

Программный продукт позволит начальнику Отдела аргументировать размер ЭПС по кредиту на Кредитном Совете, с помощью отчета по расчету ЭПС по кредиту.

Результат расчета ЭПС по кредиту нужен для начальника Отдела, который ежеквартально рассчитывает кредитный портфель каждого из кредитных инспекторов Отдела, а затем и общий кредитный портфель Отдела.

Сотрудник Отдела, рассчитав эффективную процентную ставку по выдаваемому кредитному продукту, может оценить степень доходности для Банка от предоставления кредитного продукта данному клиенту с заранее известными параметрами кредитного продукта, иными платами, условным графиком выдач-гашений [8].

Так как Отдел занимается кредитованием корпоративных клиентов, которыми являются юридические лица и индивидуальные предприниматели, без образования юридического лица, предоставляя им услуги по кредитованию, именуемые как — возобновляемая кредитная линия, невозобновляемая кредитная линия, срочный кредитный договор, в размерах превышающих 10 миллионов рублей, важность точного расчета эффективной процентной ставки по кредиту на момент выдачи кредита увеличивается в несколько раз [11].

Для того чтобы рассчитать эффективную процентную ставку по кредиту на момент выдачи кредита, необходимо иметь условный график выдач-гашений, который является одной из составных частей одобренной заявки на получение кредита, в случае кредитования корпоративных клиентов, в размерах превышающих 10 миллионов рублей [11].

Условным, график выдач-гашений называется потому, что в нем клиент отражает примерную историю всех пла-

тежей, связанную с обеспечением кредита. Условный график выдач-гашений иллюстрирует лишь возможную форму использования кредитного продукта, он не предполагает точного его соблюдения в момент использования услуги по кредитованию.

Условный график выдач-гашений представляет собой таблицу (см. таблица 1), состоящую из трех столбцов: дата операции, выдача (размер средств получаемых клиентом от Банка), гашение (размер средств получаемых Банком от клиента).

Таблица 1. Структура условного графика выдач-гашений

Дата операции	Выдача (руб)	Гашение (руб)
...

Каждая строка условного графика выдач-гашений представляет собой операцию, связанную с предполагаемым обеспечением кредита.

Каждая ячейка столбца «дата операции» условного графика выдач-гашений отражает дату операции в формате: число, месяц, год.

Столбцы «выдача» и «гашение» условного графика выдач-гашений относительно одной операции по графику отражают величины и направление движения денежных средств. В случае если, в ячейку столбца «выдача» помещена сумма операции, тогда в данной строке в ячейке столбца «гашение» помещается нуль, и наоборот.

Для того чтобы рассчитать эффективную процентную ставку на момент выдачи кредита, необходимо формировать график выдач-гашений на основе предоставленного клиентом условного графика выдач-гашений.

График выдач-гашений — таблица, представляющая собой план выплат (см. рисунок 2).

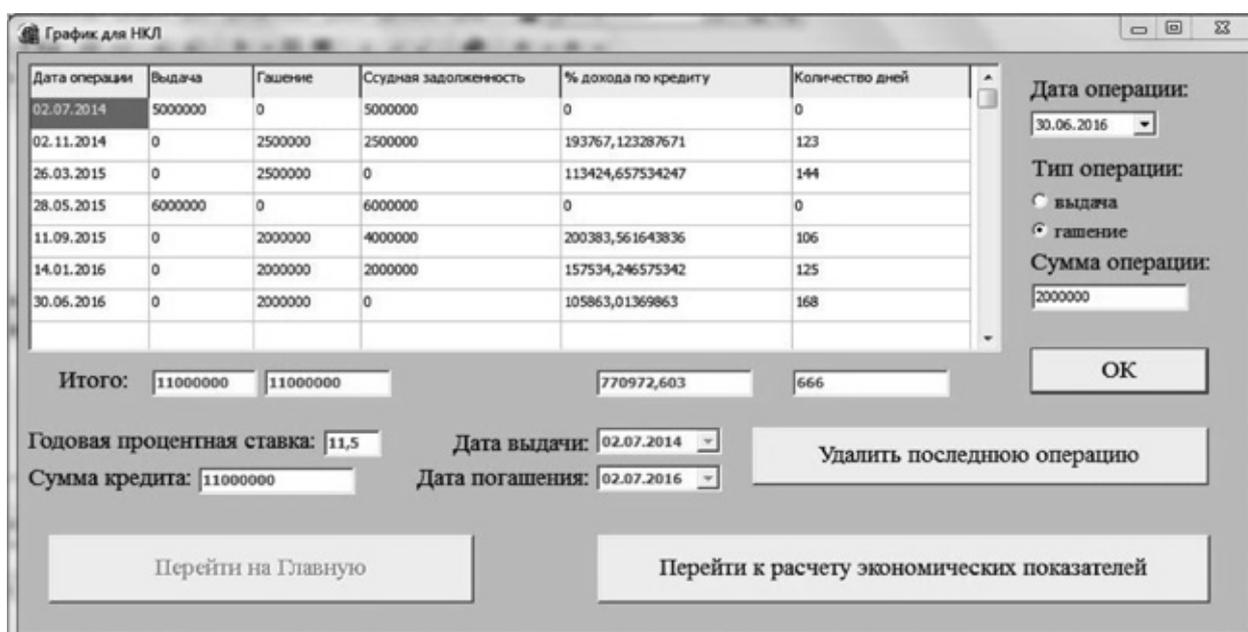


Рис. 2. График выдач-гашений для НКЛ

Данная таблица состоит из шести столбцов: дата операции, выдача (размер средств получаемых клиентом от Банка), гашение (размер средств получаемых Банком от клиента), ссудная задолженность, % дохода по кредиту, количество дней.

Каждая строка графика выдач-гашений представляет собой единовременный платеж в сторону Банка либо в сторону Клиента, несущий в себе ряд экономических характеристик.

Совокупность всех строк представляет собой историю всех платежей по кредиту или план выплат.

Алгоритм расчета операций для графика выдач-гашений приведен в таблице 2.

Различие между условным графиком выдач-гашений и графиком выдач-гашений состоит в том, что условный график выдач-гашений носит формальный характер и по отношению к графику выдач-гашений, имеет таблицу меньшую по количеству столбцов.

Следует отметить, что в процессе коммуникаций с клиентом сотрудник Отдела, имея условный график выдач-гашений, может составить график выдач-гашений, в котором даты операций совместно с величинами и направлением движения денежных средств будут отличаться от представленных в условном графике выдач-гашений.

Методология построения графика выдач-гашений зависит от типа кредита. Отдел предоставляет следующие типы кредитов: ВКЛ (возобновляемая кредитная линия), НКЛ (невозобновляемая кредитная линия), Срочный КД (срочный кредитный договор).

Возобновляемая кредитная линия (или кредитная линия с лимитом задолженности, ВКЛ) — предостав-

ление денежных средств частями (траншами) в пределах установленного периода и лимита кредитования (лимита задолженности) [11]. Погашение осуществляется в любое время в течение периода кредитования. При этом непогашенная сумма основного долга не может превышать установленный лимит задолженности. Погашенная заемщиком часть кредита увеличивает лимит задолженности.

Невозобновляемая кредитная линия (или кредитная линия с лимитом выдачи, НКЛ) — предоставление денежных средств частями (траншами) в пределах установленного периода и лимита кредитования (лимита выдачи) [11]. При этом заемщик может воспользоваться кредитными средствами в удобные для него сроки в порядке, предусмотренном кредитным договором. Погашение части кредита не увеличивает лимита выдачи.

Срочный кредитный договор — это возможность разового получения денежных средств на определенный кредитным договором срок, в течении которого, Банку уплачиваются все причитающиеся платежи по обслуживанию долга [11].

Возврат кредита (основного долга) осуществляется равными или неравными долями, либо единовременным погашением кредита по окончании установленного срока, исходя из предоставленных Клиентом технико-экономического обоснования суммы кредита и прочих документов.

В таблице 3 представлено описание различий между типами кредитов относительно графика выдач-гашений [11].

Также основополагающими параметрами кредита, необходимыми для расчета эффективной процентной ставки по кредиту (далее — ЭПС) являются [11]:

Таблица 2. Алгоритм расчета операций для графика выдач-гашений

	A	B	C	D	E	F
1	Дата операции №1	Сумма операции №1	-	=B1	-	-
2	Дата операции №2	-	Сумма операции №2	=D1+B2-C2	=D1*Годовая % ставка/100*F2/(365 или 366, в зависимости от типа года)	=ЕСЛИ (D1=0;0; A2-A1)
3	Дата операции №3	-	Сумма операции №3	=D2+B3-C3	=D2*Годовую % ставку/100*F3/(365 или 366, в зависимости от типа года)	=ЕСЛИ (D2=0;0; A3-A2)
4	Дата операции №4	Сумма операции №4	-	=D3+B4-C4	=D3*Годовая % ставка/100*F4/(365 или 366, в зависимости от типа года)	=ЕСЛИ (D3=0;0; A4-A3)

Таблица 3. Особенности кредитов

Тип кредита/ Особенность	ВКЛ	НКЛ	Срочный КД
Общее движение денежных средств по операциям типа «выдача» и «гашение»	может превышать сумму кредита	не может превышать сумму кредита	не может превышать сумму кредита
Кол-во операций типа «выдача»	может быть больше чем одна	может быть больше чем одна	всего одна, равная сумме кредита и дата операции, которой, равна дате выдачи

— сумма кредита — величина предоставляемой заемщику ссуды;

— годовая процентная ставка — величина, указанная в процентном выражении к сумме кредита, которую платит заемщик за пользование кредитным продуктом в расчете на год;

— комиссия — величина, отражающая кредитную историю клиента, в диапазоне от 0 до 2, с шагом 0,1 (0 — плохая кредитная история клиента, 2 — хорошая кредитная история клиента);

— иные платы — платежи, за открытие и ведение счета, за прием в кассу наличных денег, за открытие кредитной линии, за составление договора залога, за возможность пролонгации кредитного договора и т. п.;

— срок кредитования (в месяцах) — число месяцев, равное периоду кредитования;

— дата выдачи — дата, равная дате заключения договора, либо дате перечисления денежных средств, либо дате поступления денежных средств заемщику (в Отделе используется — дата выдачи равная дате заключения договора);

— дата погашения — дата, равная дате последнего платежа по кредиту или дате закрытия договора (в Отделе используется — дата погашения, равная дате закрытия договора);

— тип года — високосный или обычный (в случае если период кредитования целиком расположен в рамках високосного года, только в данном случае тип года является «високосным», иначе «обычный»).

Согласно положению ЦБ РФ №254-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и прирав-

ненной к ней задолженности» (утв. Банком России 26.03.2004 N 254-П, ред. от 25.10.2013, зарегистрированным в Минюсте России 26.04.2004 N 5774; с изм. и доп., вступающими в силу с 01.03.2014) расчет ЭПС может быть произведен лишь одним способом, описанным в данном положении.

Для достижения большей степени формализации описания расчетов были построены: таблица 4, таблица 5, иллюстрирующие формализованное описание входных и результатных показателей соответственно [9].

Автоматизация процесса расчета ЭПС по кредиту для Отдела может быть решена с помощью уже имеющихся разработок на рынке программного обеспечения, таких как:

— ИБС БИСКВИТ модуль «Кредиты и депозиты юридических лиц» [12];

— платформа FIS Retail программный продукт «FIS Кредиты» [13];

— ИБС ЦФТ-Банк приложение «Кредитный договор» [14];

Однако, ввиду того что, разработки: модуль «Кредиты и депозиты юридических лиц» ИБС БИСКВИТ и программный продукт «FIS Кредиты» платформы FIS Retail полностью не соответствуют заявленным функциональным характеристикам, а приобретение приложения «Кредитный договор» ИБС ЦФТ-Банк является затратным, было принято решение разработать собственный программный продукт для автоматизации процесса расчета ЭПС по кредиту.

Для разработки программного продукта было необходимо:

— выявить типы кредитов предоставляемых в Отделе, и их особенности.

Таблица 4. Формализованное описание входных показателей

Наименование входного показателя	Идентификатор входного показателя
Сумма кредита	S
Тип года (если «обычный», значит Y=365, иначе Y=366)	Y
Сумма столбца «количество дней» графика выдач-гашений	D
Иные платы	Pp
Сумма столбца «% дохода по кредиту» графика выдач-гашений	X
Комиссия	b

Таблица 5. Формализованное описание результатных показателей

Наименование результатного показателя	Идентификатор результатного показателя	Алгоритм расчета
Сумма комиссии в абсолютной величине	K (abs)	$K (abs) = S * b / 100$
Сумма комиссии в относительной величине	K (ot)	$K (ot) = (K (abs) / S * 100 * Y) / D$
Процент доходов к сумме кредита за срок кредитования	Co	$Co = (X / S * 100 * Y) / D$
Иные платежи в процентах годовых от общей суммы кредита	I	$I = Pp / S * 100$
Эффективная процентная ставка по кредиту	EPS	$EPS = K (ot) + I + Co$

Таблица 6. Сведения о кредитах юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям по Приморскому краю

Наименование показателя	01.01.2013		01.01.2014	
	млн. руб	%	млн. руб	%
Объемы кредитов, предоставленные юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям, всего	304570	100	386952	100
— в рублях	293648	96,4	376460	97,3
— в иностранной валюте и драгоценных металлах	10922	3,6	10492	2,7

— изучить структуру и функционирование Отдела;

— выявить входные документы, которые будут предоставлять оперативную и нормативно-справочную информацию;

— описать предметную область автоматизации;

— разработать даталогическую модель, в виде описания информационных объектов базы данных;

— разработать макеты, шаблоны выходной (результатной) информации;

— разработать интерфейс программного продукта;

— написать код программы посредством среды разработки.

Ввиду того, что в настоящее время корпоративные клиенты вынуждены ожидать решения Банка о выдаче кредитного продукта либо его отказе, меньше чем в банках-конкурентах, имеется вероятность того, что ввиду возрастающей необходимости кредитования в Приморском крае (см. таблица 6), Банк привлечет в будущей перспективе большее количество Клиентов [15].

Автоматизировав процесс расчета ЭПС по кредиту для Отдела, возросла эффективность функционирования Отдела, сотрудники которого ввиду своих должностных инструкций должны осуществлять расчет ЭПС по кредиту, а также эффективность функционирования Банка в целом.

Литература:

1. Федеральный закон «О противодействии легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма» от 07.08.2001 N 115-ФЗ;
2. Статья, С. А. Крючкова «Оценка кредитоспособности заемщика. Основные показатели оценки» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2004-9-1/208.pdf> свободный — Яз. рус.
3. Элитариум — центр дистанционного обучения: как банки оценивают кредитоспособность своих клиентов [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.elitarium.ru/2006/08/09/kak_banki_ocenivajut_kreditosposobnost_svoikh_klientov.html свободный — Яз. рус.
4. Официальный сайт ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»: О банке [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.pskb.com/about/> свободный — Яз. рус.
5. Официальный сайт ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»: Миссия и стратегия [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.pskb.com/about/mission/> свободный — Яз. рус.
6. Внутренний документ ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»: «Положение о Кредитном отделе ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»» от 23.04.2012 г.
7. Внутренний документ ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»: «Положение о миссии, стратегии и политике ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»» от 24.11.2008 г.
8. Корпоративный менеджмент: Вычисление эффективной процентной ставки [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.cfn.ru/finanalysis/math/eff_interest_rate.shtml свободный — Яз. рус.
9. Положение ЦБ РФ №254-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности» (утв. Банком России 26.03.2004 N 254-П, ред. от 25.10.2013, зарегистрированным в Минюсте России 26.04.2004 N 5774; с изм. и доп., вступающими в силу с 01.03.2014).
10. Внутренний документ ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»: «Положение о Кредитном Совете ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»» от 15.09.2010 г.
11. Внутренний документ ОАО СКБ Приморья «Примсоцбанк»: «Положение о кредитовании юридических лиц и индивидуальных предпринимателей» от 13.11.2009 г.
12. БИС: Банковские информационные системы — Модули БИСКВИТ: Кредиты и депозиты юридических лиц [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://bis.ru/Products/modules_detail.php?ID=2571 свободный — Яз. рус.

13. TADVISER: Государство. Бизнес. ИТ — FIS Кредиты [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php?title=Продукт:FIS_Кредиты_свободный — Яз. рус.
14. ЦФТ: Центр финансовых технологий — ИБС ЦФТ-БАНК: Приложение «Кредитный договор» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://catalog.cft.ru/cftbank/SitePages/App.aspx?Code=1B290030> свободный — Яз. рус.
15. Официальный сайт Центрального Банка Российской Федерации: Обзор кредитных организаций [Электронный ресурс] — Режим доступа: http://www.cbr.ru/statistics/print.aspx?file=credit_statistics/survey_ci_14.htm&pid=dkfs&sid=MN_53371 свободный — Яз. рус.

Проектирование урока информатики, направленного на формирование универсальных учебных действий

Рогалева Рита Рашитовна, магистрант

Научный руководитель: Газейкина А. А., доцент

Уральский государственный педагогический университет (г. Екатеринбург)

В статье рассматриваются особенности и возможности проектирования урока, в свете нового Федерального государственного образовательного стандарта. Выделяются цели, задачи, типы и этапы урока, направленного на формирование универсальных учебных действий (УУД).

Ключевые слова: универсальные учебные действия, деятельностный подход, проектирование урока, Федеральный государственный образовательный стандарт.

Design science lesson aimed at forming a universal educational action

Rita R. Rogaleva

The article discusses the features and capabilities of designing a lesson, in the light of the new federal state educational standards. Stand the goals, objectives, types and stages of the lesson, aimed at the formation of universal educational action (UEA).

Keywords: universal curricular activities, activity-based approach, designing lesson stages, Federal State Educational Standard.

Современное образование в России перешло на Федеральный государственный образовательный стандарт, в основу которого положена новая идеология. Перед образовательными учреждениями поставлена задача, которая предполагает воспитание гражданина современного общества, человека, который будет учиться всю жизнь. Целью современного образования становится развитие ученика образовательного учреждения как субъекта познавательной деятельности.

Особенность ФГОС — деятельностный характер, который ставит главной задачей развитие личности ученика. Система образования отказывается от традиционного представления результатов обучения в виде знаний, умений и навыков, формирования стандарта указывают реальные виды деятельности, которыми учащийся должен овладеть к концу начального обучения. Требования к результатам обучения сформулированы в виде личностных, метапредметных и предметных результатов. Постав-

ленная задача требует перехода к новой системно-деятельностной образовательной парадигме, которая, в свою очередь, связана с принципиальными изменениями деятельности учителя, реализующего новый стандарт.

Неотъемлемой и важнейшей частью ядра нового стандарта являются универсальные учебные действия (УУД). Согласно, сформулированному в модели Программы развития универсальных учебных действий А. Г. Асмоловым и др. понятию, универсальные учебные действия — это обобщенные действия, порождающие широкую ориентацию учащихся в различных предметных областях познания и мотивацию к обучению. В модели Программы развития универсальных учебных действий выделяются: личностные, регулятивные, познавательные, коммуникативные универсальные учебные действия.

Возможности общеобразовательного курса информатики и ИКТ в реализации деятельностного подхода и развитии универсальных учебных действий представляют

особый интерес. Это связано со следующими обстоятельствами:

— информатика — активно развивающийся учебный предмет, который реализует многие современные образовательные тенденции;

— характерные для учебного предмета информатики виды деятельности такие как, например, моделирование, естественным образом встраиваются в систему универсальных учебных действий;

— в последние годы в информатике интенсивно развивается идея метапредметности, которая во многом соотносится с концепцией универсальных учебных действий;

— информатика как предмет имеет ряд отличительных особенностей от других учебных дисциплин:

1. наличие специальных технических средств, в первую очередь — персонального компьютера для каждого ученика, а также задействованной в учебном процессе оргтехники, мультимедийных устройств;

2. компьютерный класс, в котором проводятся уроки, организован особенным образом: каждый ученик имеет, с одной стороны, индивидуальное рабочее место, а с другой — доступ к общим ресурсам;

3. ответы у доски практикуются значительно реже, чем на других уроках, зато больше приветствуются ответы с места (особые условия для развития коммуникативных компетентностей);

4. именно на уроках информатики активная самостоятельная деятельность, создание собственного, лично-значимого продукта могут быть естественным образом организованы педагогом;

5. предмет информатика отличает изначальная высокая мотивация учащихся: изначальная «романтизация» компьютера и работы на нём создаёт учителю информатики благоприятные начальные условия для работы в классе.

Требования нового стандарта не являются чем-то абсолютно новым для практикующих учителей. И всё же у многих педагогов они вызвали тревогу и неуверенность в своих силах. Как спроектировать урок, который формировал бы не только предметные, но и метапредметные результаты? Какие, из предложенных в учебнике, задания целесообразно отобрать для урока? Какие методы и приёмы работы будут эффективными? Какие формы организации деятельности учащихся стоит применять? Это далеко не все вопросы, которые сегодня задаёт учитель, реализующий ФГОС.

В проектировании урока информатики, направленного на формирование универсальных учебных действий необходимо учитывать особенность системно-деятельностного подхода — взаимосвязь всех структурных компонентов урока: целей и задач, этапы проведения, методов и форм организации взаимодействия учителя и учащихся.

Системообразующим компонентом является цель урока. При этом надо иметь в виду не только тактические, но и стратегические цели, которые ставятся в начале изучения курса, больших разделов и тем, создавать условия для понимания иерархичности целей, их взаимосвязи.

В цели обозначается личностный, метапредметный и предметный планируемый результат, который должен быть реализован в итоге урока. «Цель должна отражать конечный результат, выраженный в действиях учащихся» [2].

Выделяют три уровня описания планируемых результатов, заданных в виде целей:

1) Цели-ориентиры. Это общие цели образования, такие как формирование ценностных и мировоззренческих установок, развитие интереса, развитие познавательных потребностей. В Стандарте эти цели заданы в виде требований к личностным результатам. Поскольку достижение этих целей — дело не одного урока, то и пытаться как-то сформулировать эти цели при составлении плана конкретного урока не обязательно.

2) Цели, относящиеся к основному (опорному) изучаемому материалу. Эта группа целей приводится в блоке Стандарта «Выпускник научится».

Планируемые результаты включают умения («ученик научится»), но не знания, как было раньше. Каждый современный урок в качестве целей должен включать формирование тех или иных умений. При этом умения должны быть обозначены таким образом, чтобы их можно было легко проверить.

Кроме предметных, в цели урока должны включаться универсальные учебные действия. Над всеми УУД на одном уроке невозможно работать. Не каждый урок в равной степени представляет возможности для формирования тех или иных универсальных учебных действий. Необходима определенная выборка, критериями отбора к которой может быть содержание урока.

3) Возможно и определение целей, касающихся изучения более сложного материала, чем тот, что задан системой опорных знаний и умений. В Примерных программах эти цели приводятся в блоках «Выпускник получит возможность научиться». Эти цели отрабатываются не со всеми учениками и требуют реализации индивидуального подхода.

Итак, главный вывод — цели должны отражать заданные в Приложении к Стандарту планируемые результаты. При этом предполагается, что цели уроков в комплексе должны охватить все планируемые результаты.

Формулировка задач важна только к ведущей цели урока, что обеспечивает его технологичность, способствует адекватному подбору содержания, методов и форм организации учебной деятельности. Цели и задачи формулируются конкретно, так чтобы они были однозначно понимаемы [3]. Задачи урока должны быть сформулированы для школьников: учиться, а не научить, сформировать, т. д.

Грамотно сформулированные задачи определяют этапы урока, его логику, отражают развивающие аспекты деятельности. Задачи урока формулируются по отношению к его ведущей цели как конкретные действия учащихся, которые необходимы для её достижения. Таким образом, последняя задача выводит нас на результат, зафиксированный в цели учебного занятия. Количество задач может быть разным, исходя из поставленной цели, содержания учебного материала, логики действий учащихся.

Исходя из целей и задач определяется тип и этапы урока. Уроки деятельностной направленности по целеполаганию распределяются на четыре группы:

1. Урок «открытия» нового знания.

Деятельностная цель: формирование способности учащихся к новому способу действия.

Образовательная цель: расширение понятийной базы за счет включения в нее новых элементов.

Структура урока:

- этап мотивации (самоопределения) к учебной деятельности;
- этап актуализации и пробного учебного действия;
- этап выявления места и причины затруднения;
- этап построения проекта выхода из затруднения;
- этап реализации построенного проекта;
- этап первичного закрепления с проговариванием во внешней речи;
- этап самостоятельной работы с самопроверкой по эталону;
- этап включения в систему знаний и повторения;
- этап рефлексии учебной деятельности на уроке.

2. Урок рефлексии.

Деятельностная цель: формирование у учащихся способностей к рефлексии коррекционно-контрольного типа и реализации коррекционной нормы (фиксирование собственных затруднений в деятельности, выявление их причин, построение и реализация проекта выхода из затруднения и т. д.).

Образовательная цель: коррекция и тренинг изученных понятий, алгоритмов и т. д.

Структура урока:

- этап мотивации (самоопределения) к коррекционной деятельности;
- этап актуализации и пробного учебного действия;
- этап локализации индивидуальных затруднений;
- этап построения проекта коррекции выявленных затруднений;
- этап реализации построенного проекта;
- этап обобщения затруднений во внешней речи;
- этап самостоятельной работы с самопроверкой по эталону;
- этап включения в систему знаний и повторения;
- этап рефлексии учебной деятельности на уроке.

3. Урок общеметодологической направленности.

Деятельностная цель: формирование способности учащихся к новому способу действия, связанному с построением структуры изученных понятий и алгоритмов.

Образовательная цель: выявление теоретических основ построения содержательно-методических линий.

Структура урока:

- эти уроки являются надпредметными и проводятся вне рамок предмета на классных часах, внеклассных мероприятиях или других специально отведенных для этого уроках в соответствии со структурой технологии деятельностного метода.

4. Урок развивающего контроля.

Деятельностная цель: формирование способности учащихся к осуществлению контрольной функции.

Образовательная цель: контроль и самоконтроль изученных понятий и алгоритмов.

Структура урока:

- написание учащимися варианта контрольной работы;
- сопоставление с объективно обоснованным эталоном выполнения этой работы;
- оценка учащимися результата сопоставления в соответствии с ранее установленными критериями. [4]

Разбиение учебного процесса на уроки разных типов в соответствии с ведущими целями не должно разрушать его непрерывности, а значит, необходимо обеспечить инвариантность технологии обучения. Поэтому при построении технологии организации уроков разных типов должен сохраняться *деятельностный метод обучения* и обеспечиваться соответствующая ему система дидактических принципов как основа для построения структуры и условий взаимодействия между учителем и учеником.

В поисках путей более эффективного использования структуры уроков разных типов особую значимость приобретает форма организации учебной деятельности учащихся на уроке.

Форма — характер ориентации деятельности. В основе формы лежит ведущий метод. В педагогической литературе и школьной практике приняты в основном три таких формы:

1. фронтальная — предполагает совместные действия всех учащихся класса под руководством учителя;
2. индивидуальная — предполагает самостоятельную работу каждого ученика в отдельности;
3. групповая — учащиеся работают в группах из 3–6 человек или в парах. hfgk

Метод — способ профессиональной совместной деятельности учителя и обучаемого с целью решения образовательно-воспитательных задач.

В современной дидактике все многообразие методов обучения сведено в три основные группы:

1. методы организации учебно-познавательной деятельности. К ним относятся словесные, наглядные и практические, репродуктивные и проблемно-поисковые, индуктивные и дедуктивные методы обучения;
2. методы стимулирования и мотивации учебно-познавательной деятельности: познавательные игры, учебные дискуссии и др.;
3. методы контроля (устный, письменный и др.) и самоконтроля в процессе обучения.

Проектируя любой урок, направленный на формирование у учащихся универсальных учебных действий, необходимо максимально использовать возможности главного средства обучения — учебника. Учебник в школе был и пока остаётся основным источником знаний. В учебнике, прошедшем экспертизу на соответствие требованиям ФГОС, и в содержании, и в структуре, и в системе заданий заложены идеи, которые позволяют достичь требуемых стандартом результатов. Поэтому на этапе планирования урока необходимо внимательно изучить, какие виды

и типы заданий предлагают авторы учебника, разобраться, на формирование каких УУД они направлены. Проанализировав авторские материалы, по которым организуется учебная деятельность учащихся на уроке можно самостоятельно составить таблицу с типовыми заданиями с указанием планируемых результатов к каждому виду УУД.

Учебная деятельность учителя и учащегося в значительной мере сосредотачивается на уроке. Вот почему качество подготовки учащихся по той или иной учебной дисциплине во многом определяется уровнем подготовки, проведения урока, его содержательной и методической наполненностью, его атмосферой. Для того чтобы этот

уровень был достаточно высоким, надо, чтобы учитель в ходе подготовки урока постарался сделать его своеобразным произведением со своим замыслом, завязкой и развязкой подобно любому произведению искусств.

По образному выражению Н.М. Верзилина, «урок — это солнце, вокруг которого, как планеты, вращаются все другие формы учебных занятий». Рождение любого урока начинается с осознания и правильного, четкого определения его конечной цели — чего учитель хочет добиться; затем установления средства — что поможет учителю в достижении цели, а уж затем определения способа — как учитель будет действовать, чтобы цель была достигнута.

Литература:

1. Асмолов, А. Г., Бурменская Г. В., Володарская И. А., Карабанова О. А., Салмина Н. Г. Разработка модели Программы развития универсальных учебных действий. [Электронный ресурс] // Режим доступа <http://standart.edu.ru/catalog.aspx?CatalogId=243>
2. Кларин, М. В. Педагогическая технология в учебном процессе: Анализ зарубежного опыта/М. В. Кларин. — М.: Народное образование, 1998.
3. Кокарева, З. А. Технологический подход к анализу современного урока: учеб. метод. пос./З. А. Кокарева. — Вологда: ВИРО, 2003.
4. Петерсон, Л. Г. Механизмы формирования универсальных учебных действий на основе дидактической системы деятельностного метода обучения «Школа 2000».../Л. Г. Петерсон// Муниципальное образование: инновации и эксперимент. — 2011. — №3. — с. 17–23.
5. Поташник, М. М. Требования к современному уроку: метод. пос./М. М. Поташник. — М., 2008.
6. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования [Электронный ресурс] // Режим доступа <http://standart.edu.ru/catalog.aspx?CatalogId=2588>
7. Формирование универсальных учебных действий в основной школе: от действия к мысли. Система заданий: пособие для учителя/Под ред. А. Г. Асмолова. — М.: Просвещение, 2010. — 159 с.: ил. — (Стандарты второго поколения). — Библиогр.: с. 155–158. — ISBN 978–5–09–020588–7.

Программный комплекс выбора распределенной вычислительной сети

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук, доцент;
Мамонтов Роман Игоревич, студент
Курганский государственный университет

В статье изложен способ повышения эффективности проектирования распределенной вычислительной сети. Разработаны математическая модель и программный комплекс оптимального выбора распределенной вычислительной сети.

Результаты математического моделирования и формализации модели на ПЭВМ позволяют снизить финансовые и временные издержки, повысить обоснованность принимаемого решения и сократить срок окупаемости.

Ключевые слова: Математическая модель, метод экспертных оценок, симплекс-метод, оптимальное решение, архитектура программного комплекса, трехуровневая модель.

В настоящее время наблюдается широкое распространение распределенных вычислительных сетей. Это объясняется их преимуществами, основанными на совместном использовании информации и быстром доступе к данным. Распределенные вычислительные сети решают

задачи в интересах корпорации, ее отделений и предприятий [1, с. 429].

Выбор эффективного варианта распределенной вычислительной сети является актуальной задачей. Для решения поставленной задачи разработана мате-

математическая модель выбора оптимального варианта распределенной вычислительной сети, формализованная на ПЭВМ.

Постановка задачи оптимизации распределенной вычислительной сети формулируется следующим образом: из числа альтернативных вариантов распределенной вычислительной сети необходимо выбрать наилучший вариант, максимизирующий чистый приведенный эффект и удовлетворяющий финансовым ограничениям.

Математическая модель оптимизации включает в себя два этапа:

Методом экспертных оценок формируются альтернативные варианты распределенной вычислительной сети.

Методом математического программирования определяется оптимальный вариант из числа альтернативных, выбранных на первом этапе.

Математическая модель линейного программирования имеет вид:

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^p \beta_{jk} * Z_{jk}^i$$

$$\max \leftarrow Z = \sum_{v=1}^l A_v * X_v = A_1 * X_1 + \dots + A_l * X_l$$

при ограничениях

$$\begin{cases} B_1^0 * X_1 + B_2^0 * X_2 + \dots + B_l^0 * X_l \leq I^0 \\ B_1^1 * X_1 + B_2^1 * X_2 + \dots + B_l^1 * X_l \leq I^1 \\ \dots \\ B_1^h * X_1 + B_2^h * X_2 + \dots + B_l^h * X_l \leq I^h \end{cases}$$

где $i = \overline{1, n}$ количество групп экспертов;

$j = \overline{1, m}$ — число экспертов в группе, оценивающих варианты проектов;

$k = \overline{1, p}$ — количество оборудования, выбираемых экспертом;

β_{jk} — вес, выбранный j -м экспертом для k -ого оборудования;

Z_{jk}^i — оценка, данная j -м экспертом i -ой группы для k -ого оборудования;

\bar{Z}_i — средняя оценка проекта i -ой группы;

A_v — чистый приведенный эффект v -ого проекта;

B_v^w — инвестиционные затраты v -ого проекта в w -ом периоде времени;

I^w — средства финансирования в w -ом периоде времени;

X_v — доля финансирования v -ого проекта;

$v = \overline{1, l}$ — номер инвестиционного проекта;

$w = \overline{1, h}$ — номер периода времени [2, с. 165].

Оптимальное решение определяется методом Гаусса-Жордана.

Алгоритм метода Гаусса-Жордана включает этапы:

1 Этап. Определение начального допустимого решения.

2 Этап. Проверка на оптимальность. Если решение оптимально переход на 5 этап.

3 Этап. Выбор включаемой и исключаемой переменных.

4 Этап. Определение нового плана. Переход на 2 этап.

5 Этап. Печать оптимального решения [3, с. 110].

Математическая модель формализована на ПЭВМ. Разработанный программный комплекс предоставляет автоматизированный выбор наилучшего варианта проекта распределенной вычислительной сети.

В основе архитектуры программного комплекса используется трехуровневая модель приложения. Трехуровневая модель включает три уровня: представление, бизнес — логика, данные.

Уровень представления — интерфейс обеспечивающий взаимодействие пользователя с приложением.

Уровень бизнес-логики — правило обработки данных.

Уровень данных — взаимодействие с базой данных.

Программный комплекс включает функции:

1. Ввод исходных данных.
2. Реализация метода экспертных оценок.
3. Определение оптимального варианта распределенной вычислительной сети.
4. Поиск по базе данных.
5. Добавление в базу данных.
6. Редактирование характеристик оборудования.
7. Просмотр сетевого оборудования.
8. Вывод списка сетевого оборудования.

Программный комплекс реализован на языке Qt Creator C++.

После запуска программы, появляется заставка (рис. 1).

Вводятся исходные данные в соответствии с техническим заданием (рис. 2 — рис. 4).

После ввода данных реализуется первый этап — формирование альтернативных проектов с использованием метода экспертных оценок (рис. 5 — рис. 6).

Количество групп и число экспертов в группах можно изменять в программном комплексе.

Результат работы экспертов представляется в графическом виде (рис. 7 — рис. 8)

Суммарные затраты на реализацию проектов приведены на рис. 9.

Реализуется второй этап математической модели — выбор оптимального варианта проекта распределенной вычислительной сети из числа альтернативных вариантов первого этапа (рис. 10)

Нажимаем кнопку <Рассчитать>. Получаем оптимальное решение (рис. 11).

Программный комплекс позволяет посмотреть определение оптимального решения по итерациям и вывести графическое представление топологии сети.

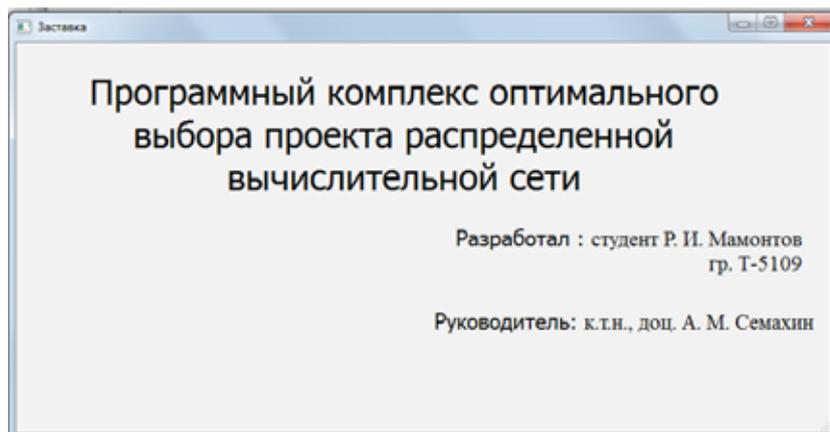


Рис. 1. Заставка программного комплекса

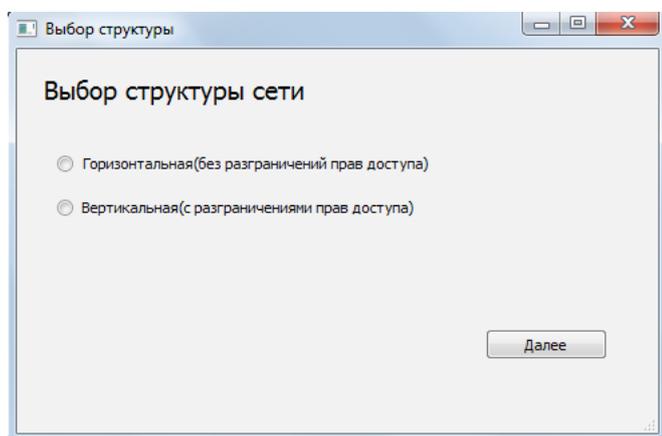


Рис. 2. Выбор структуры сети

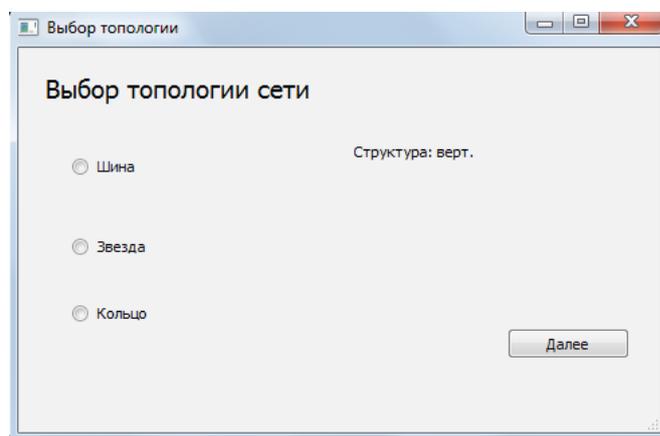


Рис. 3. Выбор топологии

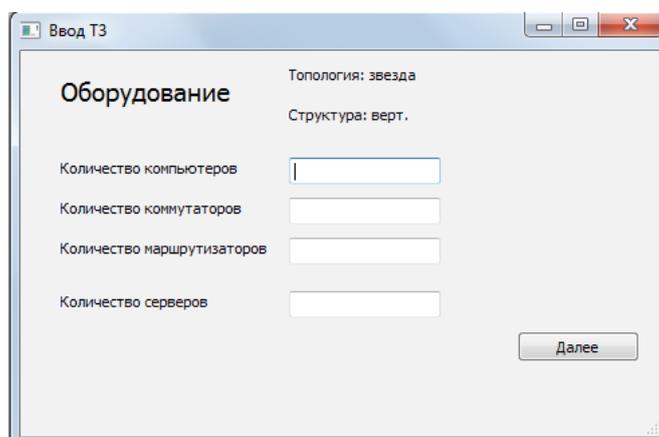


Рис. 4. Ввод данных по рабочим станциям и сетевому оборудованию

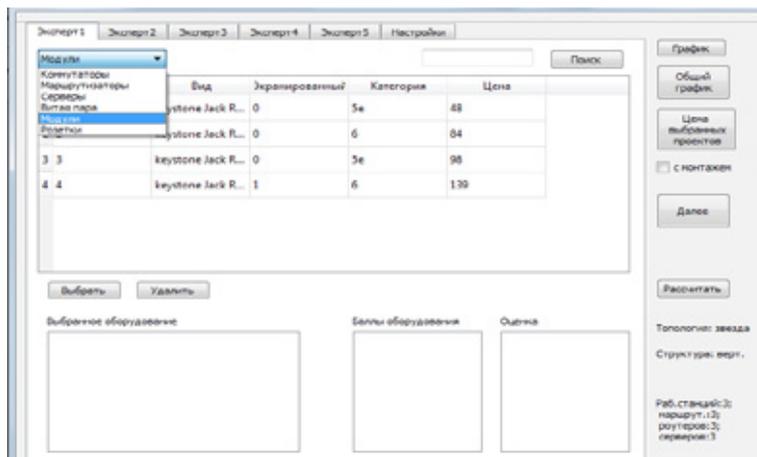


Рис. 5. Первый эксперт первой группы. Выбор оборудования

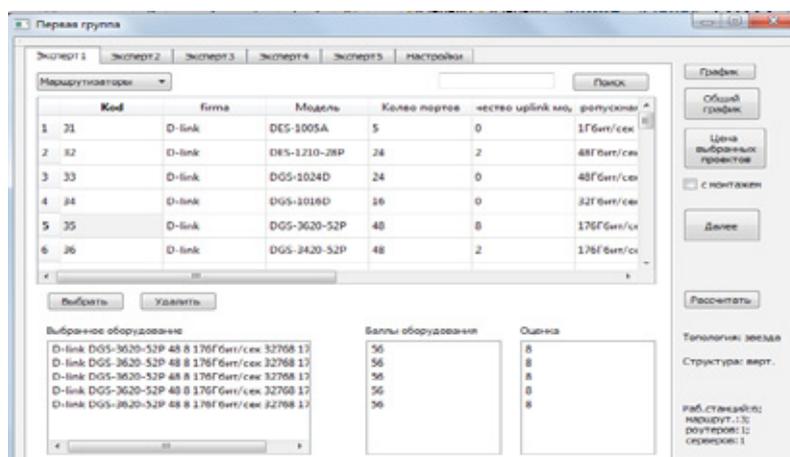


Рис. 6. Результат выбора первого эксперта первой группы

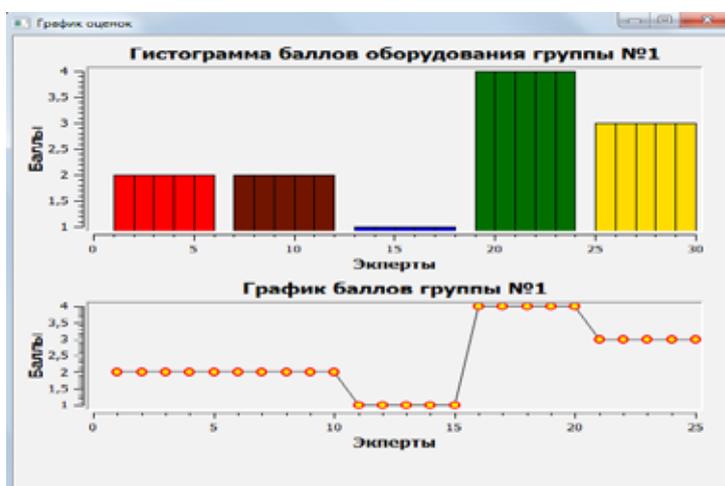


Рис. 7. Результат работы экспертов первой группы

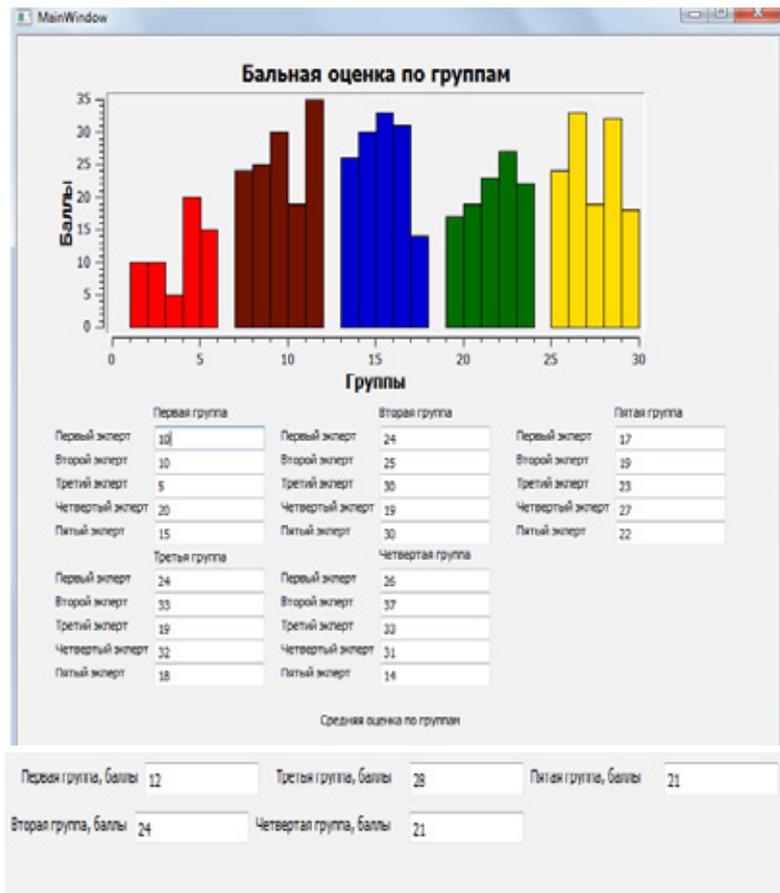


Рис. 8. Результаты работы групп экспертов

Суммарные затраты на проекты, руб

1: 87999 2: 156991 3: 222998 4: 168299 5: 289259

	Стоимость сетевого оборудования	Затраты на установку	Затраты на доставку
Первый проект	24884	20648	6518
Второй проект	109199	8492	9481
Третий проект	165849	15681	9849
Четвертый проект	156974	16830	9165
Пятый проект	120681	17941	16519

Рис. 9. Сумарные затраты на реализацию проектов

Результаты проведенных исследований позволили сделать выводы.

1. Разработана математическая модель выбора оптимального варианта проекта распределенной вычислительной сети.

2. Разработан программный комплекс выбора оптимального проекта распределенной вычислительной сети.

3. Разработанная математическая модель, формализованная на ПЭВМ, позволяет снизить финансовые и временные издержки, повысить качество и обоснованность принимаемого решения в проектировании распределенной вычислительной сети и сократить срок окупаемости.

4. Результаты работы могут быть использованы для дальнейшего исследования.

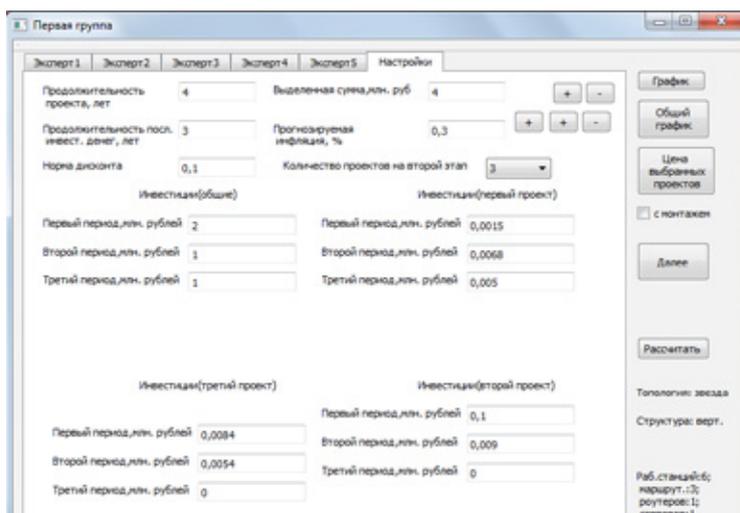


Рис. 10. Ввод данных для реализации второго этапа математической модели

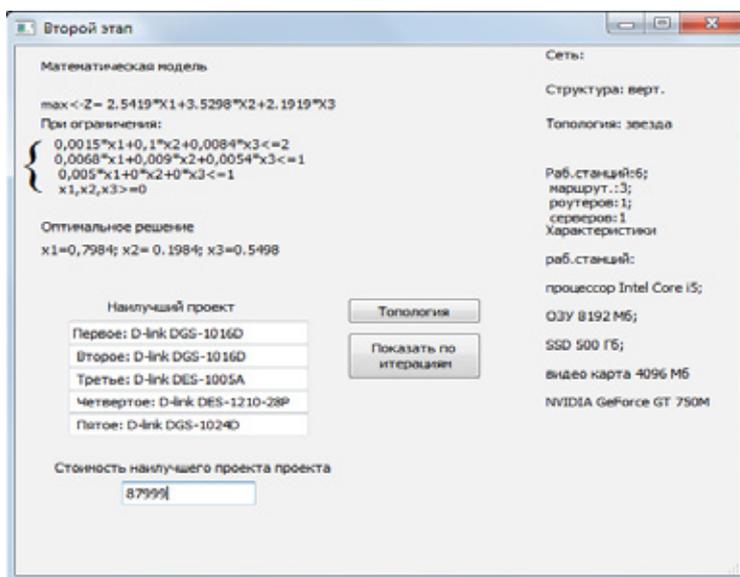


Рис. 11. Оптимальное решение

Литература:

1. Пятибратов, А.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник. — 2-е изд, перераб. и доп./А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко; Под ред. А. П. Пятибратова. — М.: Финансы и статистика, 20025. — 512 с.
2. Семахин, А. М. Математическая модель оптимизации информационной системы. Вестник Курганского государственного университета. — Серия «Технические науки». — Вып. 5. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. — 220 с.
3. Таха Хемди. Введение в исследование операций, 7 — издание.; Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 912 с.

Гибкие нейро-нечеткие системы вывода и программная реализация для решения задач аппроксимации

Синюк Василий Григорьевич, кандидат технических наук, профессор;
Бакшеева Елена Леонидовна, магистрант
Белгородский государственный университет имени В. Г. Шухова

Нейро-нечеткие системы объединяют в себе достоинства нейронных сетей и классических нечетких систем. В отличие от нейронных сетей, нейро-нечеткие системы характеризуются четким представлением знаний, содержащихся в нечетких правилах. Также нейро-нечеткие сети можно обучать с помощью метода обратного распространения ошибки (основа обучения многослойных нейронных сетей) и эволюционных алгоритмов. Обучению чаще всего подвергаются параметры функций принадлежности суждений (компонент ЕСЛИ...) и заключений (компонент ТО...) нечетких правил. Перечисленные достоинства нейро-нечетких систем обусловили их широкое применение для решения задач моделирования, аппроксимации и классификации. В большинстве таких систем используется вывод типа Мамдани или логического типа.

Способ вывода (Мамдани или логический) может быть определен в процессе обучения. Такие системы называются гибкими нейро-нечеткими системами. Структура гибких систем изменяется в процессе обучения.

В этой статье рассматриваются нейро-нечеткие системы вывода с множеством входов и одним выходом, отображающие $\mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$, где $\mathbf{X} \subset \mathbf{R}^n$ и $\mathbf{Y} \subset \mathbf{R}$ [1]. Система (рис. 1) состоит из фuzziфикатора, базы нечетких правил, нечеткого логического вывода и дефuzziфикатора.



Рис. 1. Нечеткая система вывода

Система управления с нечеткой логикой оперирует нечеткими множествами. Поэтому конкретное значение $\bar{x} = [\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n]^T \in \mathbf{X}$ входного сигнала модуля нечеткого управления подлежит операции фuzziфикации, в результате которой ему будет сопоставлено нечеткое множество $A^i \subseteq \mathbf{X} = \mathbf{X}_1 \times \mathbf{X}_2 \times \dots \times \mathbf{X}_n$. Чаще всего применяется операция фuzziфикации типа «синглтон»:

$$\mu_{A^i}(x) = \begin{cases} 1, & x = \bar{x} \\ 0, & x \neq \bar{x} \end{cases} \quad (1)$$

Нечеткая база правил состоит из набора N нечетких ЕСЛИ-ТО правил вида:

$$R^{(k)}: \text{ЕСЛИ } x \text{ есть } A^k \text{ ТО } y \text{ есть } B^k, \quad (2)$$

где $x = [x_1, \dots, x_n] \in \mathbf{X}$; $y \in \mathbf{Y}$; $A^k = A_1^k \times A_2^k \times \dots \times A_n^k$, B^k — нечеткие множества, $k = 1, \dots, N$.
Правило (2) можно представить в виде нечеткой импликации

$$R^{(k)}: A^k \rightarrow B^k, k = 1, \dots, N.$$

Правило $R^{(k)}$ можно интерпретировать как нечеткое отношение, определенное на множестве $\mathbf{X} \times \mathbf{Y}$, т.е. $R^{(k)} \subseteq \mathbf{X} \times \mathbf{Y}$ — это нечеткое множество с функцией принадлежности

$$\mu_{R^{(k)}}(x, y) = \mu_{A^k \rightarrow B^k}(x, y). \quad (3)$$

Нечеткий вывод определяется как отображение нечетких множеств входного пространства \mathbf{X} на нечеткое множество выходного пространства \mathbf{Y} . Предположим, что на вход блока выработки решения подано нечеткое множество

$A' \subseteq X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$. Каждое из N правил определяется выходным нечетким множеством $\bar{B}^k \subset Y$, полученным с помощью композиционного правила вывода:

$$\bar{B}^k = A' \circ (A^k \rightarrow B^k).$$

Нечеткие множества \bar{B}^k , в соответствии с формулой (3) характеризуются функцией принадлежности:

$$\mu_{\bar{B}^k}(y) = \sup_{x \in X} \{ \mu_{A'}(x) *^T \mu_{A_1^k \times A_2^k \times \dots \times A_n^k \rightarrow B^k}(x, y) \} \tag{4}$$

где $*^T$ может быть любым оператором из класса Т-норм. Заметим, что при использовании операции фuzziфикации типа «сингльтон»(1), формула (4) принимает вид:

$$\mu_{\bar{B}^k}(y) = \mu_{A_1^k \times A_2^k \times \dots \times A_n^k \rightarrow B^k}(\bar{x}, y) = \mu_{A^k \rightarrow B^k}(\bar{x}, y) = I(\mu_{A^k}(\bar{x}), \mu_{B^k}(y)),$$

где $I(\cdot)$ — «инженерная импликация» или нечеткая импликация.

Оператор агрегации, применяемый для того, чтобы получить нечеткое множество B' из нечетких множеств \bar{B}^k — это оператор Т-нормы или Т-конормы в зависимости от типа нечеткой импликации.

Дефuzziфикатор представляет отображение нечеткого множества B' в точку \bar{y} из $Y \subset R$. Существует несколько методов дефuzziфикации. Например, метод дефuzziфикации по максимуму функции принадлежности:

$$\mu_{B'}(\bar{y}) = \sup_{y \in Y} \{ \mu_{B'}(y) \}.$$

Далее рассмотрим общую схему нейро-нечеткой системы вывода [3].

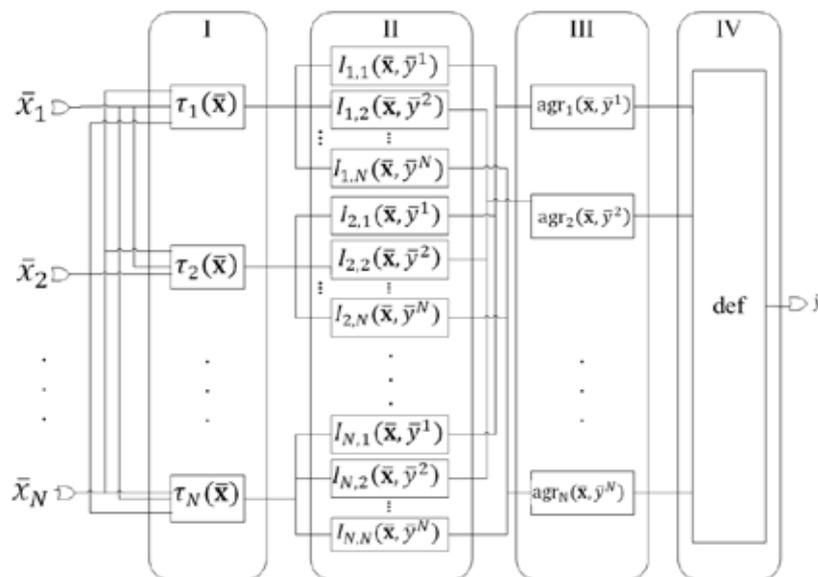


Рис. 2. Структура нейро-нечеткой сети

Она включает оба типа вывода — Мамдани и логический:

$$\bar{y} = f(\bar{x}) = \frac{\sum_{r=1}^N \bar{y}^r \cdot agr_r(\bar{x}, \bar{y}^r)}{\sum_{r=1}^N agr_r(\bar{x}, \bar{y}^r)},$$

где

$$agr_r(\bar{x}, \bar{y}^r) = \begin{cases} S_{k=1}^N \{ I_{k,r}(\bar{x}, \bar{y}^r) \}, & \text{для модели Мамдани} \\ T_{k=1}^N \{ I_{k,r}(\bar{x}, \bar{y}^r) \}, & \text{для логического модели} \end{cases}$$

и

$$I_{k,r}(\bar{x}, \bar{y}^r) = \begin{cases} T\{\tau_k(\bar{x}), \mu_{B^k}(\bar{y}^r)\}, & \text{для модели Мамдани} \\ S\{N(\tau_k(\bar{x})), \mu_{B^k}(\bar{y}^r)\}, & \text{для логического модели} \end{cases}$$

$$\tau_k(\bar{x}) = T_{i=1}^n \{\mu_{A_i^k}(\bar{x}_i)\}$$

При использовании модели Мамдани и логического типа полученные результаты будут отличаться. В статье предложено использовать гибкую нейро-нечеткую систему типа «И», которая представляет собой следующую комбинацию «инженерной» и нечеткой импликации:

$$I(a, b) = (1 - \lambda)T\{a, b\} + \lambda S\{1 - a, b\} = (1 - \lambda) \min\{a, b\} + \lambda \max\{1 - a, b\}.$$

Параметр λ находится в процессе обучения и может принимать значения из интервала [0;1].

Тогда нейро-нечеткая система примет вид:

$$\tau_k(\bar{x}) = T_{i=1}^n \{\mu_{A_i^k}(\bar{x}_i)\}$$

$$I_{k,r}(\bar{x}, \bar{y}^r) = \left((1 - \lambda)I_{\text{Mamdani}}(\tau_k(\bar{x}), \mu_{B^k}(\bar{y}^r)) + \lambda I_{\text{Luzzy}}(\tau_k(\bar{x}), \mu_{B^k}(\bar{y}^r)) \right)$$

$$\text{agr}_r(\bar{x}, \bar{y}^r) = \left((1 - \lambda)S_{k=1}^N \{I_{k,r}(\bar{x}, \bar{y}^r)\} + \lambda T_{k=1}^N \{I_{k,r}(\bar{x}, \bar{y}^r)\} \right).$$

Отметим, что при $\lambda = 1$ получаем нейро-нечеткую систему Мамдани, а при $\lambda = 0$ — логического типа.

Обучение нейро-нечеткой сети осуществляется с использованием генетического алгоритма [2], который позволяет избежать трудностей, присущих градиентным методам.

Для обеспечения выполнения принципа обобщения используем треугольные нечеткие величины. При данном подходе вид функции принадлежности однозначно определяется тройкой параметров [a, b, c]:

$$y = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a < x < b \\ \frac{x - c}{b - c}, & b < x < c \\ 0, & x > c \end{cases}$$

Таким образом, хромосома, кодирующая нейро-нечеткую систему, будет иметь вид:

a_1	b_1	c_1	...	a_N	b_N	c_N	λ
-------	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-----------

где a, b, c — параметры функции принадлежности i -ого нечеткого множества, $i = \overline{1, N}$; λ — параметр модели вывода.

Для решения поставленной задачи разработана программная схема, структура которой представлена на рис. 3.



Рис. 3. Функциональная схема программной системы

Модуль для работы с нейро-нечеткими сетями содержит классы, реализующие нечеткие величины, термы, лингвистические переменные, нечеткие правила, а также подпрограммы основных операций с нечеткими величинами, алгоритм нечеткого вывода.

Модуль генетического поиска обеспечивает реализацию генетического алгоритма, кодирование базы правил.

Модуль, реализующий формирование базы знаний, получает на входе обучающие данные и формирует на их основе базу нечетких правил.

Модуль интеграции подсистем реализует основную последовательность действий по выполнению функций системы нечеткого вывода путем вызова соответствующих подпрограмм остальных модулей.

Рассматриваемая нейро-нечеткая система тестировалась на задачах моделирования:

1. статической нелинейной функции: рассматривается аппроксимация нелинейной функции, которая описывается выражением

$$y(x_1, x_2) = (1 + x_1^{-2} + x_2^{-1.5})^2, x_1, x_2 \in [1, 3] \quad y(x_1, x_2) = (1 + x_1^{-2} + x_2^{-1.5})^2, x_1, x_2 \in [1, 3].$$

Обучающая последовательность состоит из 100 векторов входных данных и соответствующих им значений функции.

2. динамического нелинейного объекта: поведение объекта описывается функцией

$$y(t) = g(y(t-1), y(t-2)) + u(t),$$

$$\text{где } g(y(t-1), y(t-2)) = \frac{y(t-1)y(t-2)(y(t-1)-0.5)}{1+y^2(t-1)y^2(t-2)}, u(t)u(t) \text{ — выходной сигнал.}$$

Обучающая последовательность генерируется для нулевого начального состояния. Для обучения нейро-нечеткой системы используется последовательность состояний объекта для синусоидального входного сигнала вида $u(t) = \sin(2\pi t/25)$.

Для оценки полученной нейро-нечеткой системы используется среднеквадратичная ошибка (RSME):

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^Q (f(x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t) - d^t)^2}{Q}}$$

где Q — количество наборов в обучающей выборке; d^t — значение выходной переменной в t -ом наборе обучающей выборки, $t = \overline{1, Q}$; $f(x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t)$ — результат нечеткого вывода по t -ому набору обучающей выборки.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты тестирования нейро-нечеткой системы

Задача	Настраиваемые параметры	Начальное значение λ	Конечное значение λ	RSME
Статическое моделирование	Функции принадлежности, λ	0.5	0.0000	0.1189
Статическое моделирование	Функции принадлежности	1	-	0.1598
Динамическое моделирование	Функции принадлежности, λ	0.5	0.0000	0.0575
Динамическое моделирование	Функции принадлежности	1	-	0.0819

Концепция гибких нейро-нечетких систем позволяет выбрать тип системы (Мамдани или логический) по результатам обучения. Решения тестовых задач свидетельствуют, что гибкая система в результате обучения становится системой Мамдани (параметр $\lambda = 0$) при решении задач аппроксимации. Таким образом, рекомендуется использовать систему типа Мамдани для задач аппроксимации и идентификации.

Литература:

1. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст]/Д. Рутковский, М. Пилиньский, Л. Рутковский. — М.: «Горячая линия — Телеком», 2004. — 452 с.

2. Лю, Б. Теория и практика неопределенного программирования [Текст]/Б. Лю. — М.: «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2013. — 416 с.
3. Rutkowski, L. Flexible neuro-fuzzy systems [Текст]/L. Rutkowski. — Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. — 279 с.

Информационная безопасность и стандарт CobIT

Торопцев Евгений Львович, доктор экономических наук, профессор;

Репин Андрей Викторович, аспирант

Северо-Кавказский федеральный университет (г. Ставрополь)

В беседах со специалистами по информационной безопасности часто обнаруживается, что взгляды и терминология в этой относительно новой области различаются иногда вплоть до противоположных. При прямом вопросе об определении информационной безопасности можно услышать такие разноуровневые термины, как «защита данных», «контроль использования», «борьба с хакерами» и т. д.

Между тем существуют сложившиеся определения самой информационной безопасности и примыкающего к ней круга понятий. Иногда они различаются у различных специалистов (или школ). Случается, что в определениях просто используют синонимы, иногда — меняются местами даже целые группы понятий. Поэтому первоначально необходимо четко определиться с основными понятиями информационной безопасности.

Под информационной безопасностью будем понимать состояние защищенности информации и информационной среды от случайных или преднамеренных воздействий естественного или искусственного характера, которые могут нанести неприемлемый ущерб субъектам информационных отношений, в том числе владельцам и пользователям информации [3, с. 4].

Самая распространенная модель информационной безопасности базируется на обеспечении трех свойств информации: конфиденциальность, целостность и доступность.

Конфиденциальность информации означает, что с ней может ознакомиться только строго ограниченный круг лиц, определенный ее владельцем. Если доступ к информации получает неуполномоченное лицо, происходит утрата конфиденциальности. Для некоторых типов информации конфиденциальность является одним из наиболее важных атрибутов (например, данные стратегических исследований, медицинские и страховые записи, спецификации новых изделий, сведения о клиентах банка и их счетах, а также совершаемых ими операций по указанным счетам, сведения о кредиторах, налоговые данные и т. п.).

Целостность информации определяется ее способностью сохраняться в неискаженном виде. Неправомерные, и не предусмотренные владельцем изменения информации (в результате ошибки оператора или преднамеренного действия неуполномоченного лица) приводят к потере

целостности. Целостность особенно важна для данных, связанных с функционированием объектов критических инфраструктур (например, управления воздушным движением, энергоснабжения и т. д.), финансовых данных.

Доступность информации определяется способностью системы предоставлять своевременный беспрепятственный доступ к информации субъектам, обладающим соответствующими полномочиями. Уничтожение или блокирование информации (в результате ошибки или преднамеренного действия) приводит к потере доступности. Доступность — важный атрибут для функционирования информационных систем, ориентированных на обслуживание клиентов (системы продажи железнодорожных билетов, распространения обновлений программного обеспечения) [3, с. 4].

Кроме перечисленных трех свойств дополнительно выделяют еще два свойства, важных для информационной безопасности: аутентичность и апеллируемость.

Аутентичность — возможность достоверно установить автора сообщения.

Апеллируемость — возможность доказать, что автором является именно данный человек и никто другой.

Как учебная и научная дисциплина информационная безопасность исследует природу перечисленных свойств информации, изучает угрозы этим свойствам, а также методы и средства противодействия таким угрозам (защита информации).

Как прикладная дисциплина информационная безопасность занимается обеспечением этих ключевых свойств, в частности, путем разработки защищенных информационных систем [3, с. 5].

С развитием общества развивались и информационные технологии, применяемые для обеспечения информационной безопасности. Однако, наряду с постоянным совершенствованием технических средств и программных средств защиты, важным был и остается вопрос выработки профессионального подхода к управлению и систематическому обследованию информационных технологий по международным стандартам, что позволяет компенсировать на первый взгляд невидимые, но существенные недостатки в организации производственных процессов. Построение грамотной структуры управления, создание эффективной

вертикали принятия решения и системы контроля напрямую зависят от состояния информационных технологий, от их эффективности, производительности, безопасности, надежности и других не менее важных показателей [4]. Таким образом, перед руководителем неоспоримо возникает проблема выбора методологического средства, на основе которого будет построена система управления и контроля. На сегодняшний день ощутимого недостатка в стандартах нет. Такие стандарты, как ISO 27001, ISO 27002, ITIL и другие, уже применяются и в российской практике, более того, интерес к ним неизменно растет. Все они практически в равной степени наделены определенными преимуществами и недостатками, прежде всего из-за функциональной направленности и специфической области применения. Любому же пользователю интересен, прежде всего, комплексный подход к решению, тем более в таком объемном и многогранном вопросе, как управление и контроль ИТ. Рассмотрим более подробно одно из существующих решений — стандарт CobiT.

CobiT — подход к управлению информационными технологиями, созданный Ассоциацией контроля и аудита систем (Information Systems Audit and Control Association — ISACA) и Институтом руководства ИТ (IT Governance Institute — ITGI) в 1992 году. Он предоставляет менеджерам, аудиторам и ИТ пользователям набор утвержденных метрик, процессов и лучших практик с целью помочь им в извлечении максимальной выгоды от использования информационных технологий и для разработки соответствующего руководства и контроля ИТ в компании [2].

Аббревиатура CobiT расшифровывается как Контрольные Объекты для Информационных и смежных

Технологий. За этой аббревиатурой скрывается набор документов, в которых изложены принципы управления и аудита информационных технологий. CobiT позиционируется как открытый стандарт «де-факто» [4].

История развития стандарта CobiT может быть представлена в виде следующего рисунка (рис. 1).

Первая редакция стандарта увидела свет в 1996 году. Стандарт CobiT, сохраняя преемственность основным принципам и идеям, постоянно совершенствовался. На сегодняшний день ряд предприятий постепенно переходят на его пятую версию.

Именно COBIT 5 будет детально рассмотрен в рамках данной работы. Прежде отметим, что структура стандарта была заложена в предыдущих его версиях, в основном в третьей. Редакции 4.0 и 4.1, созданные в 2005 и 2007 годах соответственно, практически без изменений переняли схему структуры предшествующей им версии. Чего нельзя сказать о пятой версии, о чем наглядно говорит представленный ниже рисунок (рис. 2).

Необходимо отметить, что модель процессов, выстраиваемая на базе CobiT, предпочтительней других подходов, в основе которых не лежат бизнес-процессы организации (методики и стандарты аудита производителей программно-аппаратных средств), по нескольким причинам.

Во-первых, по определению: процесс — это действие, направленное на достижение результата, при оптимальном использовании ресурсов, и которое может корректироваться при его выполнении. При выполнении процесса все задействованные ресурсы структурируются и выстраиваются таким образом, чтобы максимально эффективно выполнять этот процесс.

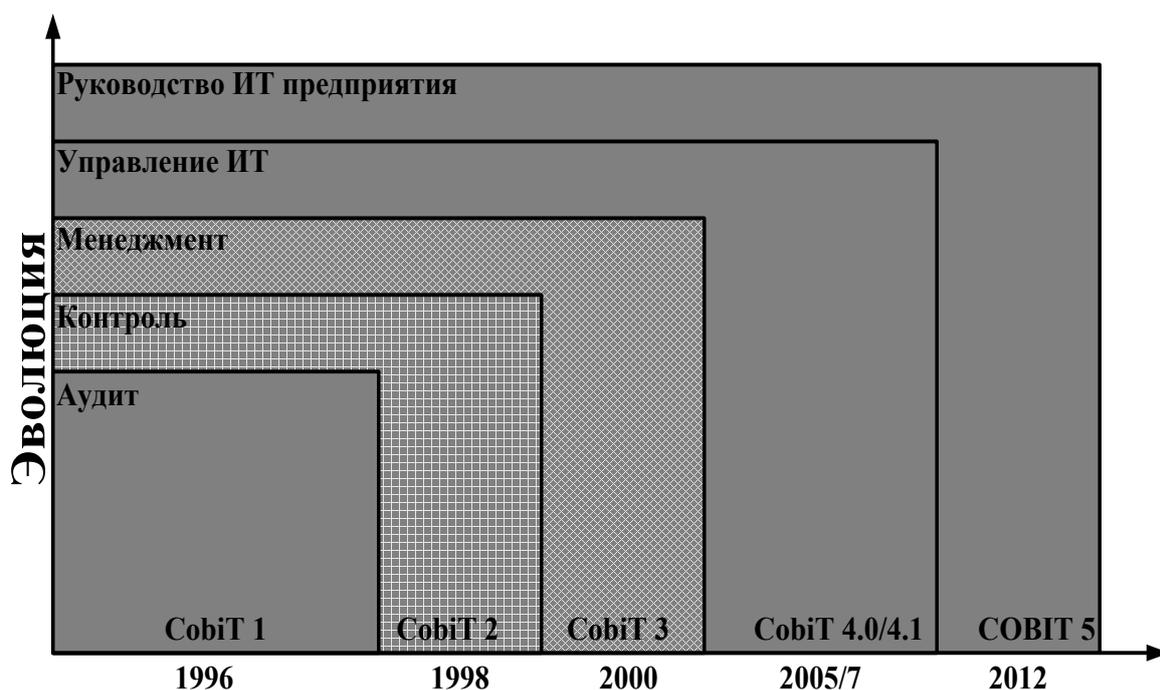


Рис. 1. Эволюция стандарта CobiT [1]

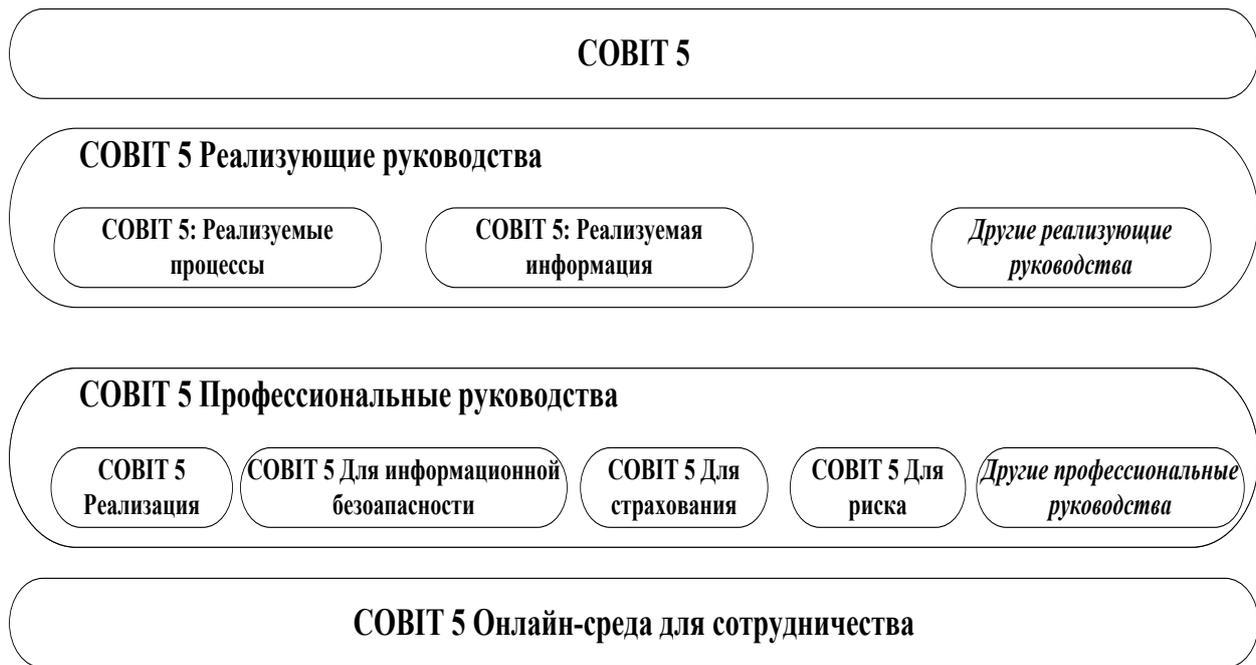


Рис. 2. Семейство продуктов COBIT 5 [1]

Во-вторых, процессы в подавляющем большинстве организаций, а особенно их цели не так часто изменяются, по сравнению с организационными объектами (организационно-штатная структура: сотрудники, отделы, департаменты и т. д.).

В-третьих, развертывание информационной системы или внедрение информационных технологий не может быть ограничено спецификой одного отдела или департамента, а затрагивает руководителей, пользователей из других подразделений и ИТ-специалистов. Таким образом, прикладные системы (прикладное программное обеспечение то, что видит пользователь) — это неотъемлемая часть структуры COBIT и могут быть стандартно оценены, как и прочие объекты контроля COBIT, в рамках единой структуры и с применением единых метрик.

COBIT — это сохранение единого подхода к сбору, анализу информации, подготовке выводов и заключений на всех этапах управления, контроля и аудита ИТ, возможность сравнения существующих ИТ-процессов с «лучшими» практиками, в том числе отраслевыми [4].

Для этого COBIT выделяет высокоуровневые цели контроля (ВЦК), по одной на каждый ИТ-процесс, которые группируются в домены. Предлагаемая структура объединяет все аспекты информации и технологий, поддерживающих ее. Применяя эти высокоуровневые цели контроля, руководитель может быть уверен, что ему будет предоставлена адекватная система контроля над ИТ-средой, которая учитывает задействованные ресурсы ИТ, дающая возможность оценить ИТ по предлагаемым COBIT семи критериям оценки информации. В дополнение к изложенным выше свойствам конфиденциальности и целостности, необходимо следующие 5 критериев или свойств:

— Эффективность — актуальность информации, ответственность бизнес-процесса, гарантия своевременного и регулярного получения правильной информации.

— Продуктивность — обеспечение доступности информации с помощью оптимального (наиболее продуктивного и экономичного) использования ресурсов.

— Пригодность — предоставление информации по требованию бизнес-процессов.

— Согласованность — соответствие законам, правилам и договорным обязательствам.

— Надежность — доступ руководства организации к соответствующей информации для текущей деятельности, для создания финансовых отчетов и оценки степени соответствия [4].

Как и в предшествующих версиях COBIT, в пятой версии стандарта также предусмотрено выделение высокоуровневых целей контроля или ИТ-процессов. Отметим, что, учитывая особенности разработчика стандарта, структура ВЦК была переведена и представлена в удобном для восприятия варианте (рис. 3).

Отметим, что данная версия стандарта COBIT, даже судя по приведенному выше составу высокоуровневых целей контроля, наилучшим образом соответствует реалиям современного предприятия, активно применяющего информационные технологии. Количество ВЦК увеличилось до 37, что позволяет стандартизировать еще больше процессов на предприятии. Увеличилось и количество доменов — 5 в COBIT 5 против 4 в COBIT 3, 4.0 и 4.1. Что хотелось бы отметить также, что наряду с традиционными ресурсами предприятия, которые обычно рассматриваются и в рамках менеджмента, особая роль отводится производному от информации продукту — знаниям. Сама ин-

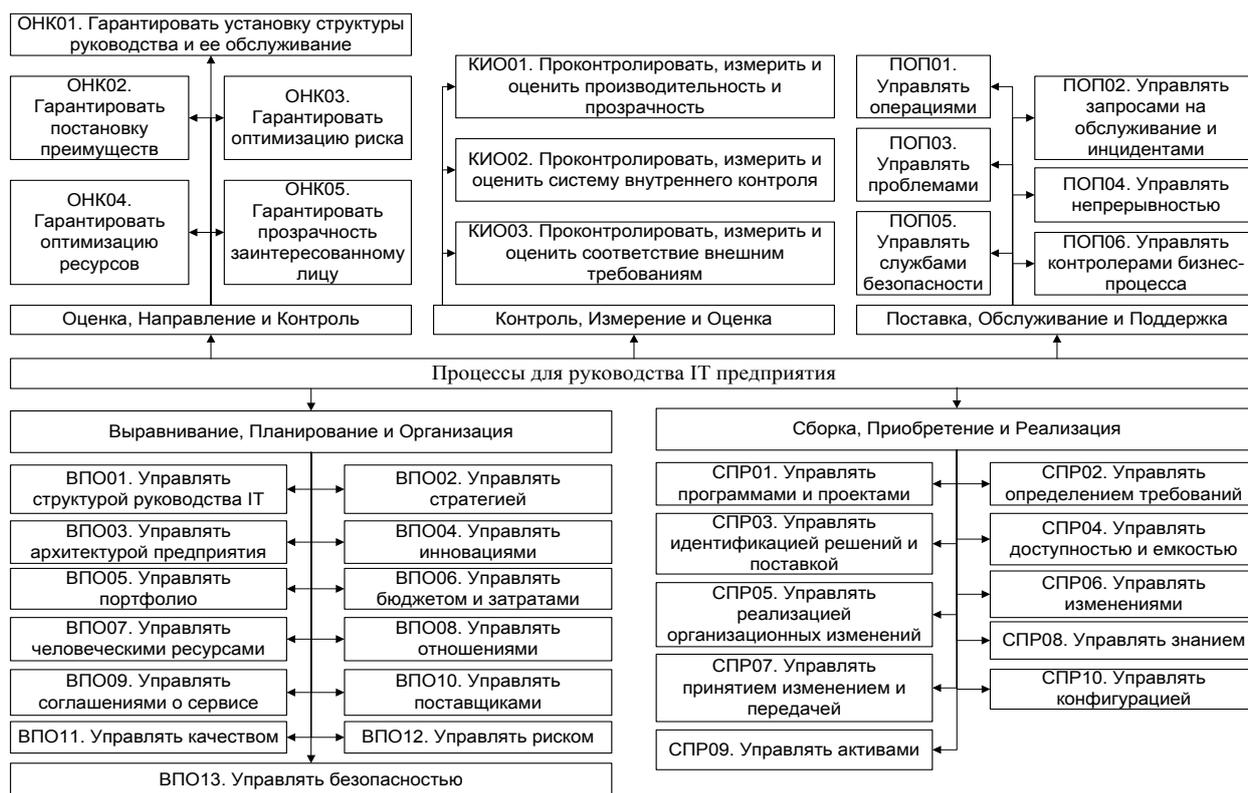


Рис. 3. Высокоуровневые цели контроля COBIT 5 [1]

формация понятное дело также по себе важна, но знания, а также основанные на них экспертные системы помогают принимать управленческие решения. На наш взгляд, также не менее важным является то, что стандарт COBIT 5 учитывает рыночные условия функционирования предприятий и необходимость совершенствования технологий. Об этом говорит наличие двух высокоуровневых целей контроля: «Управлять инновациями» и «Управлять риском».

Помимо изложенного, стандарт COBIT 5 пропагандирует разделение традиционного управления (менеджмента) и управления информационными технологиями. Это обосновано следующими принципами:

- 1) Направлен на удовлетворение потребностей заинтересованного лица.
- 2) Охватывает всю деятельность предприятия.
- 3) Основан на применении единой интегрированной структуры.
- 4) Реализует целостный подход.
- 5) Направлен на разделение руководства ИТ от менеджмента [1].

Литература:

1. A COBIT 5 Overview — www.isaca.org/COBIT5
2. CobiT — www.itexpert.ru
3. Амелин, Р.В. Информационная безопасность Учебно-методическое пособие по вопросам информационной безопасности
4. Стандарт CobiT. Управление и аудит информационных технологий — http://citforum.ru/consulting/standart_cobit/

На наш взгляд, это вполне разумно и обоснованно: это может разгрузить традиционный менеджмент на выполнение, пусть часто и рутинных, но необходимых процессов для надлежащего функционирования предприятия, и в свою очередь позволит качественно управлять ИТ-ресурсами. В любом случае, оба направления управления не будут перегружены.

В заключение отметим, что сама информационная безопасность как научная и прикладная область деятельности постоянно развивается. Как правило, это обеспечивается постоянным совершенствованием технических и программных средств защиты. Здесь особое место занимает совершенствование методологии управления и аудита ИТ и основанных на них ресурсов. Стандарт CobiT является лучшим комплексным решением для этого. Его пятая версия, на наш взгляд, наилучшим образом соответствует потребностям предприятия в информационной безопасности — любого предприятия, а не только в сфере информационных технологий.

Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 8 (67) / 2014

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М. Н.
Иванова Ю. В.
Лактионов К. С.
Сараева Н. М.
Авдеюк О. А.
Алиева Т. И.
Ахметова В. В.
Брезгин В. С.
Данилов О. Е.
Дёмин А. В.
Дядюн К. В.
Желнова К. В.
Жуйкова Т. П.
Игнатова М. А.
Коварда В. В.
Комогорцев М. Г.
Котляров А. В.
Кучерявенко С. А.
Лескова Е. В.
Макеева И. А.
Мусаева У. А.
Насимов М. О.
Прончев Г. Б.
Семахин А. М.
Сенюшкин Н. С.
Ткаченко И. Г.
Яхина А. С.

Ответственные редакторы:

Кайнова Г. А., Осянина Е. И.

Международный редакционный совет:

Айрян З. Г. (Армения)
Арошидзе П. Л. (Грузия)
Атаев З. В. (Россия)
Борисов В. В. (Украина)
Велковска Г. Ц. (Болгария)
Гайич Т. (Сербия)
Данатаров А. (Туркменистан)
Данилов А. М. (Россия)
Досманбетова З. Р. (Казахстан)
Ешиев А. М. (Кыргызстан)
Игисинов Н. С. (Казахстан)
Кадыров К. Б. (Узбекистан)
Козырева О. А. (Россия)
Лю Цзюань (Китай)
Малес Л. В. (Украина)
Нагервадзе М. А. (Грузия)
Прокопьев Н. Я. (Россия)
Прокофьева М. А. (Казахстан)
Ребезов М. Б. (Россия)
Сорока Ю. Г. (Украина)
Узаков Г. Н. (Узбекистан)
Хоналиев Н. Х. (Таджикистан)
Хоссейни А. (Иран)
Шарипов А. К. (Казахстан)

Художник: Шишков Е. А.

Верстка: Бурьянов П. Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

420126, г. Казань, ул. Амирхана, 10а, а/я 231.

E-mail: info@moluch.ru

<http://www.moluch.ru/>

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Конверс», г. Казань, ул. Сары Садыковой, д. 61